

دانشنامه تخصصی میراث فرهنگی

دو فصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی
دوره جدید، سال ششم، شماره پیاپی ۱۰، بهار و تابستان ۱۳۹۸

بررسی وجوه شباهت و تفاوت باغ‌سازی باغ بیرم‌آباد و سایر باغ‌های منطقه کرمان

صالحه فرحبخش؛ غلامرضا کیانی ده‌کیانی

فضاها و گونه‌ها: باستان‌شناسی، بوم‌شناسی چشم‌انداز و مدل‌های فضایی در پاتاگونیای شمالی

نویسندگان: وی. اسچینسون و اس‌دی. ماتوچی
مترجم: نجمه نوری

مروری بر ساختار مرکب آهن‌مازو

اعظم‌رمضانی‌چرمینه، مهرناز آزادی بویاغچی

بازسازی سفال‌های تاریخی با میزان زیاد قطعات مفقود

نویسندگان: نوشین بنس‌لو؛ مهدی رازانی؛ علی میرزایی

مروری بر روش‌های بومی حفاظت از نسخ خطی

نویسندگان: جوشنا شاهو؛ باسودو موهاننتی
مترجم: اعظم‌رمضانی‌چرمینه

پیری و زوال کاغذ: یافته‌ها و روش‌های پژوهشی اخیر

نویسندگان: ماریا کریستینا اریا؛ هرو کرادام
مترجمان: مصطفی‌خواجهمحمودی؛ محسن محمدی آچالویی



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

معرفی نشریه دانش مرمت و میراث فرهنگی

نشریه الکترونیکی دانش مرمت و میراث فرهنگی، دوره جدید نشریه‌ای است که در سال ۱۳۸۳ با نام دانش مرمت، به‌عنوان نخستین نشریه تخصصی مرمت آثار و ابنیه تاریخی از طرف انجمن علمی دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان در دو شماره بهار و پاییز منتشر شد و در ادامه به‌واسطه مشکلات اجرایی به مدت ۴ سال از فعالیت باز ماند. تا اینکه در پاییز ۱۳۸۷ انتشار دوباره آن با تغییر ساختار در شیوه‌ارائه و محورهای اصلی صورت گرفت، به‌نحوی که از آن پس نشریه به‌صورت الکترونیکی در تارنمای دانشگاه هنر اصفهان منتشر شد. هدف از راه‌اندازی دوره جدید نشریه دانش مرمت، همانند گذشته انتشار مقالات دانشجویی سطح بالا است که در دو بخش: مقالات علمی - ترویجی و مقالات مروری در رابطه با کلیه مباحث مرمت آثار و ابنیه و تزئینات وابسته به معماری تاریخی- فرهنگی و علوم دیگر مرتبط با این حوزه اقدام به انتشار مقالات خواهد نمود. لازم به ذکر است پذیرش مقالات منوط به تأیید هیات تحریریه و انطباق با راهنمای نشر متون در نشریه خواهند بود.

دو فصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی

صاحب امتیاز: انجمن علمی دانشجویان مرمت آثار تاریخی دانشگاه هنر اصفهان

مدیر مسئول: مهری قبادی

سر دبیر: علیرضا کوچکزایی

مدیر داخلی: الهه برادران شرکاء

ویراستار فارسی: فائزه اربابی، پرستو رمضانی،

عاطفه روحانی

ویراستار انگلیسی: نسیم قنبری، عاطفه روحانی

طراح لوگو: رسول خسروی

طراح جلد: عاطفه روحانی



دو فصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی

دوره جدید، سال ششم، شماره پیاپی ۱۰، بهار و تابستان ۱۳۹۸

داوران این شماره:

محمود ستایش مهر

حسین سپیدنامه

علیرضا کوچکزایی

مهری قبادی

مصطفی خواجه محمودی

نسیم قنبری

هیأت تحریریه به ترتیب حروف الفبا:

الهه برادران شرکاء

وحید پورزرقان

امید عودباشی

مهری قبادی

امیرحسین کریمی

علیرضا کوچکزایی

محسن محمدی آچاچلویی

پرویز هلاکویی

تماس با نشریه

اصفهان - خیابان حکیم نظامی، کوچه سنگتراش‌ها، انتهای کوچه

محلہ تبریزی‌ها (خانه داوید). دفتر انجمن علمی دانشجویان مرمت

پست الکترونیکی: nashriyeh@aui.ac.ir

تارنما: <https://conservation.aui.ac.ir/>

راهنمای تدوین مقالات دوفصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی

- موضوع نشریه در زمینه کلیه مباحث مرمت آثار و ابنیه و تزئینات وابسته به معماری تاریخی- فرهنگی و علوم دیگر مرتبط با این حوزه است.
- زبان مقاله فارسی و رعایت اصول و آیین نگارش این زبان الزامی است.
- مقاله ارسالی نباید قبلاً در نشریه‌ای دیگر یا مجموعه مقالات همایش‌ها به چاپ رسیده و یا همزمان به نشریه دیگری ارائه شده باشند.
- مقالات ترجمه شده تنها با صلاحدید نشریه و ارزیابی کیفیت مقاله غیرفارسی و ترجمه آن در صورت دارا بودن اولویت علمی داوری خواهند شد و در صورت احراز ویژگی‌های مد نظر به چاپ خواهند رسید و در هر شماره بیشینه ۲۰ درصد مقالات به ترجمه اختصاص خواهد یافت؛ لازم به ذکر است مقاله به زبان اصلی نیز همراه با ترجمه ارسال گردد.
- تأیید نهایی مقالات برای چاپ در نشریه، پس از کسب نظر داوران با هیأت تحریریه نشریه است.
- نشریه در پذیرش، رد یا ویرایش محتوای مقاله‌ها آزاد است.
- حق چاپ مقاله، پس از پذیرش، برای نشریه محفوظ است و نویسنده مقاله اجازه چاپ آن را در نشریه دیگری ندارد.
- در صورتی که نیاز به تصحیح مقاله باشد، اصلاحات باید منحصرأ محدود به موارد ذکر شده باشد. در سایر موارد نویسنده لازم است سردبیر را در جریان هرگونه تغییر و یا تصحیح دیگری قرار دهد. در هر صورت مسئولیت مطالب مطرح شده در مقاله بر عهده نویسنده یا نویسندگان خواهد بود.
- در صورت تعدد نویسندگان، ارسال کننده مقاله به نشریه به عنوان نویسنده مسئول شناخته می‌شود.
- حجم مقاله بیشتر از ۱۵ صفحه (با احتساب تمام بخش‌های مقاله) نباشد.
- مقاله‌ها باید ساختار علمی داشته و به ترتیب دارای بخش‌های زیر باشند:
 - صفحه اول مقاله بدون شماره و باید شامل عنوان مقاله، نام و نام خانوادگی نویسنده/نویسندگان، رتبه علمی، نام محل تحصیل یا اشتغال نویسنده/نویسندگان و رایانامه نویسنده مسئول، چکیده و کلیدواژگان (۴ تا ۶ واژه کلیدی) به فارسی و انگلیسی باشد.
 - چنانچه مقاله مستخرج از طرح پژوهشی یا رساله باشد، عنوان طرح پژوهشی یا رساله نیز در صفحه اول درج گردد (به جز صفحه اول سایر صفحات مقاله، شماره‌گذاری شوند).
 - عنوان مقاله: باید کوتاه، گویا و بیان کننده محتویات نوشتار باشد.
 - چکیده فارسی: حداکثر ۲۵۰ کلمه که باید شامل طرح مسأله، هدف، روش تحقیق، مهمترین یافته‌ها و نتیجه‌گیری باشد.
 - مقدمه: شامل طرح مسأله، هدف پژوهش، ضرورت و اهمیت آن و معرفی اجمالی مقاله است.
 - پیشینه پژوهش
 - روش پژوهش: نوع و روش پژوهش (نوع پژوهش و روش‌های مورد استفاده در جمع‌آوری داده‌ها، جامعه آماری، روش نمونه‌گیری، معرفی متغیرها و شاخص‌ها، نوع دستگاه‌ها یا نرم‌افزارهای مورد استفاده در پژوهش و تجزیه و تحلیل داده‌ها در این قسمت بیان می‌گردد).
 - متن اصلی مقاله: شامل مبانی نظری، مطالعات و بررسی‌ها، یافته‌ها و نتیجه‌گیری پژوهش باشد.
 - بحث و نتیجه‌گیری: باید به گونه‌ای منطقی و مستدل (همراه با جمع بندی موارد طرح شده) شامل پاسخ به سؤال تحقیق در قالب ارائه یافته‌های تحقیق باشد.
 - سپاسگزاری از همکاری و راهنمایی کسانی که در تدوین مقاله نقش داشته اند (در صورت تمایل).
 - پی‌نوشت: شامل برابر نهاد واژه‌ها، توضیحات ضروری و مکمل درباره اصطلاحات، عبارات و مطالب مقاله و ... است، که در متن به ترتیب شماره‌گذاری شده و در پایان مقاله و قبل از فهرست منابع تحت عنوان پی‌نوشت‌ها آورده شوند.

- منابع و مآخذ: در نگارش مقاله باید منابع معتبر استفاده گردد. در پایان مقاله، ابتدا منابع فارسی و سپس منابع انگلیسی به ترتیب حروف الفبا بر حسب نام خانوادگی نویسنده مرتب شود.
- حداقل تعداد ضروری تصویر، نمودار و جدول در مقاله حائز اهمیت است و باید با کیفیت مناسب (تصاویر با کیفیت 300 dpi و فرمت jpg) ذکر منبع و تعیین محل مناسب در مقاله باشد.
- عنوان و مأخذ جدول در بالای آن و عنوان و مأخذ تصویر در زیر آن درج گردد.
- مقاله در برنامه ی Word بر روی کاغذ A4، با قلم BNazanin، اندازه ۱۴ و عنوان مقاله با قلم BNazanin با اندازه ۱۸ نوشته شود. فاصله خطوط نیز ۱.۱۵ در نظر گرفته شود.
- ارجاع دهی در مقاله به شیوه شیکاگو انجام شود.
- نویسندگان محترم می بایست فایل Word 2007 و pdf مقاله های خود را به همراه فرم درخواست چاپ مقاله به صورت امضا شده از طریق پست الکترونیکی به آدرس nashriyeh@au.ac.ir ارسال نمایند.

جهت آگاهی بیشتر برای تنظیم مقاله، به شیوه نگارش مشروح که از تارنمای نشریه به آدرس <https://conservation.au.ac.ir> قابل دریافت است مراجعه کنید.



فهرست مطالب

بررسی وجوه شباهت و تفاوت باغ‌سازی باغ بیرم‌آباد و سایر باغ‌های منطقه کرمان

۱-۱۰ صالحه فرحبخش؛ غلامرضا کیانی ده‌کیانی

فضاها و گونه‌ها: باستان‌شناسی، بوم‌شناسی چشم‌انداز و مدل‌های فضایی در پاتاگونیای شمالی

۱۱-۳۳ نویسندگان: وی. اسپینسون و اس. دی. ماتوچی
مترجم: نجمه نوری

۳۳-۴۶ مروری بر ساختار مرکب آهن مازو
اعظم رمضانی چرمینه، مهرناز آزادی بویاغچی

۴۷-۵۶ بازسازی سفال‌های تاریخی با میزان زیاد قطعات مفقود
نویسندگان: نوشین بنس‌لو؛ مهدی رازانی؛ علی میرزایی

۵۷-۶۳ مروری بر روش‌های بومی حفاظت از نسخ خطی
نویسندگان: جوشنا شاهو؛ باسودو موهانتی
مترجم: اعظم رمضانی چرمینه

۶۴-۱۰۵ پیری و زوال کاغذ: یافته‌ها و روش‌های پژوهشی اخیر
نویسندگان: ماریا کریستینا اریا؛ هرو کرادام
مترجمان: مصطفی خواجه‌محمودی؛ محسن محمدی آچاچلویی



بررسی وجوه شباهت و تفاوت باغ‌سازی باغ بیرم‌آباد و سایر باغ‌های منطقه کرمان

صالحه فرحبخش^{۱*}؛ غلامرضا کیانی ده‌کیانی^۲

^۱ کارشناس ارشد مرمت میراث معماری، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان

(salehe_farahabkhsh@yahoo.com)

^۲ عضو هیئت علمی گروه مرمت بناهای تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان

چکیده

باغ ایرانی را می‌توان حاصل تلاش بشر در جهت خلق مکانی به منظور بهره‌مندی مضاعف از طبیعت دانست. باغ‌های ایرانی دارای اصول ساختاری ثابت می‌باشد که مهم‌ترین آن‌ها را می‌توان تبعیت از اقلیم منطقه، جغرافیا محیط و دوره‌ی تاریخی ساخت باغ دانست که جانمایی عناصر مصنوع و طبیعی در باغ متأثر از این اصول می‌باشد. در این میان باغ‌های منطقه‌ی کرمان نیز از این مقوله مستثنی نبوده و علی‌رغم پیروی از الگوی فوق، هر یک دارای ساختاری منحصر به فرد می‌باشند. هدف از پژوهش پیش‌رو مطالعه‌ی عواملی نظیر نحوه قرارگیری ساختارهای معماری در باغ، نحوه حضور آب و پوشش گیاهی در چهار باغ بیرم‌آباد، فتح‌آباد، شاهزاده و سالار کلانتر است. در این جستار تلاش گردید با روش تطبیقی به مطالعه‌ی شواهد و بقایای موجود در نظام باغ‌سازی چهار نمونه‌ی مطالعاتی پرداخته شود تا در نهایت به وجوه شباهت و تفاوت نظام باغ‌سازی ایرانی در باغ‌های مذکور دست یابیم. نتایج حاصل از این مقاله چنین نشان می‌دهد که تمامی باغ‌های مورد مطالعه، از تلفیق دو عنصر سازه‌ی معماری و هم‌چنین باغ‌آرایی شامل حضور آب و پوشش گیاهی ساخته شده‌اند که هر یک در جزئیات، ساختاری ویژه را حاصل کرده‌اند و در نهایت باغ بیرم‌آباد پیرو الگویی کاملاً متفاوت از باغ‌سازی ایرانی، تمامی عناصر باغ ایرانی را در خود جانمایی کرده است.

کلیدواژگان: باغ‌سازی، مطالعه تطبیقی، نظام کاشت، نظام آبیاری، نظام استقرار معماری، ، باغ بیرم‌آباد کرمان.

A study on the similarity and difference of landscape gardening between of Beyram-Abad Garden and other Gardens in Kerman

Saleheh Farahbakhsh^{1*} and Gholam Reza Kiani Dehkiani²

¹Master of Restoration of Architectural Heritage, Art University of Isfahan
(salehe_farahabkhsh@yahoo.com)

²Facilty Member of Restoration of Historic Buildings and Sites, Art University of Isfahan

Abstract

Iranian garden is the result of humans' attempt in order to make the most of nature. The most significant principles of Iranian garden organization are compatibility with the territorial and environmental conditions, and the historic era which affect on artificial and natural garden elements location. Gardens in Kerman like other gardens have followed these principles however, each of them has their own design. In this paper irrigation, existence of water and planting system of four gardens of Kerman including Beyram-Abad, Fath-Abad, Shazde and Salar Kalantar are investigated. The present study investigates into these gardens arrangement according to the remnants. Eventually, it indicates that although all aforementioned gardens were built with coexistence of structures and garden elements, the Beyram- Abad garden has its own particular pattern of gardening.

Keywords: Gardening, Similarity and different features, planting system, Irrigation system, Architectural system, Beyram-Abad Garden of Kerman

۱- مقدمه

ایرانیان بیش‌تر از سایر اقوام و ملل پی بردند که باغ‌سازی اساس کشاورزی است و نیکوترین شیوه‌های باغ‌سازی را هم از زمان‌های دیرین به‌دست آورده بودند. مؤلف کتاب فارسنامه ابن‌بلخی، منوچهر پسر میشخوریار را که هفتمین پادشاه پیشدادی است نخستین کسی می‌داند که در جهان به احداث باغ و بوستان پرداخته و می‌نویسد: اول کسی که باغ ساخت او بود و ریاحین گوناگون بر کوه‌سارها و دشت‌ها رسته بود جمع کرد و بکشت و فرمود تا چهار دیوار گرد آن درکشیدند و آن را بوستان نام کرد (نعیم، ۱۳۹۲: ۳ و ۴). انواع باغ را بر اساس کاربرد می‌توان به شش گونه تقسیم کرد شامل: باغ سکونتگاهی، خانه-باغ، باغ حکومتی، باغ-مزار، باغ تخت، باغ میوه (سلطان‌زاده، ۱۳۷۸: ۵۲-۴۴). کالبد تمامی باغ‌های تاریخی شکل یافته از سه نظام کاشت، آب و بناها (یا استقرار معماری) است که این نظام‌ها متناسب با شرایط اقلیمی و فرهنگی هر سرزمین نسبت به سرزمین دیگر متغیر است (شاهچراغی، ۱۳۹۱: ۶۵). این جستار به دنبال مطالعه‌ی نحوه‌ی حضور سه عنصر مذکور و سازنده‌ی باغ ایرانی در چهار نمونه‌ی مطالعاتی بوده که در نهایت منجر به شناسایی وجوه تشابه و تمایز در این آثار گردید. لذا در این پژوهش تلاش شده است که اصول باغ‌سازی نظیر نحوه‌ی کاشت پوشش گیاهی، شیوه‌ی جریان و حضور آب، نحوه‌ی قراگیری عمارت‌های نسبت به یکدیگر و ارتباط بصری آن‌ها مورد مطالعه قرارگیرد و همچنین به دنبال پاسخ‌گویی به سؤالات زیر می‌باشد:

اصول اولیه و لازم جهت ساخت باغ ایرانی کدامند؟

کدام یک از اجزای باغ‌سازی ایرانی، تفاوت ساختاری باغ بیرم‌آباد نسبت به سایر باغ‌های منطقه‌ی کرمان را مشهود می‌سازد؟

۱-۱- روش تحقیق

مقاله‌ی پیش‌رو بر پایه‌ی داده‌های کتابخانه‌ای و میدانی استوار است. جهت نحوه‌ی انتخاب باغ‌ها، تلاش شده نمونه‌های انتخابی از نقاط مختلف استان مورد مطالعه قرار بگیرند. لذا سه عامل نحوه‌ی کاشت، حضور آب و موقعیت قرارگیری عمارت در باغ‌های بیرم‌آباد، فتح‌آباد، شاهزاده و سالار کلانتر مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت انجام این پژوهش پس از بررسی مستندات تاریخی مربوطه، بر اساس مطالعات میدانی عوامل فوق‌الذکر در باغ‌های مذکور مورد واکاوی قرار گرفت و در نهایت وجوه شباهت و تفاوت چهار اثر تاریخی شناسایی و معرفی گردیده است.

۲- مروری بر شناخت تاریخی آثار

۲-۱- باغ بیرم‌آباد

این باغ واقع در جنوب شرق کرمان یادگار بیرام‌بیگ افشار است که به سرکردگی تیره‌ی قاسملو در زمان شاه اسماعیل صفوی (۹۱۶ ه. ق.) و از سوی محمد خان استاجلو به کرمان آمد. براین اساس باغ یاد شده قدمتی بیش از ۴۰۰ سال دارد (گلاب‌زاده، ۱۳۹۱: ۱۷۹).

۲-۲- باغ فتح‌آباد:

در حاشیه‌ی روستای اختیارآباد در ۱۳ کیلومتری شمال غرب کرمان واقع شده و توسط فئات فتح‌آباد آبیاری می‌شده است. هسته‌ی اولیه‌ی باغ در حدود ۱۲۸۰ ه. ق. توسط حسینعلی خان فرزند فضلی خان شکل می‌گیرد و متأثر از محیط بکر و مستعد پیرامون خود روزبه‌روز شکوفاتر می‌شود و عمارت‌های چندی بدان افزوده می‌شود (سلطان‌زاده و اشرف‌گنجوی، ۱۳۹۲: ۸۰، ۸۱).

۲-۳- باغ شاهزاده

این باغ یادگار عبدالحمید میرزا فرمانفرما حاکم عصر قاجار (۱۲۹۷ ه. ق.) در شهرستان ماهان استان کرمان است که آن را در دامنه‌ی کوه‌های تیگران و در زمینی به مساحت ۵/۵ هکتار و با دو مجموعه‌ای ارزشمند شرقی و غربی و حمامی خصوصی بنا کرد. کوشک با محل اقامت ویژه به صورت دو اشکوبه ساخته شده است (گلاب‌زاده، ۱۳۹۱: ۱۷۹).

۲-۴- باغ سالار کلانتر

در میانه‌ی خیابان سرآسیاب شهر کرمان و بعد از میدان چهار باغ قرار گرفته است. راه اصلی دسترسی باغ از خیابان شهید دکتر بهشتی (سرآسیاب) می‌باشد. باغ قدمتی حدود ۱۳۰ ساله دارد و در اواخر دوره قاجاریه به دستور میرزا مهدی خان کلانتر که مباشر بلوک خمسه (شهداد) بوده ساخته شده است (جیحانی و قاسمی‌پور افشار، ۱۳۹۴: ۲۳۹۵).

۳- بررسی رکن معماری در نمونه‌های مطالعاتی

در باغ‌های ایرانی علاوه بر عناصر سازنده‌ی طبیعی، سازه‌های معماری رکن اساسی را در ساختار و نظام باغ ایفا می‌کنند. کالبد‌های معماری، عملکردهای گوناگونی شامل عملکرد عمارت و سکونت، محل اسکان

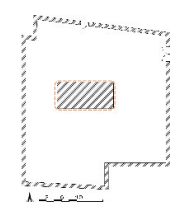
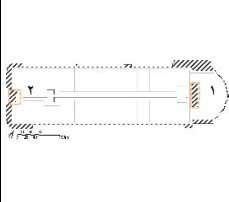
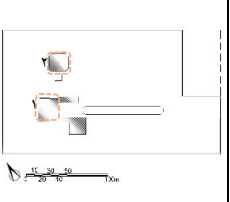
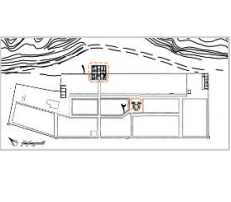
خدمه و همچنین بناهای خدماتی را به خود اختصاص می‌دهد که در این میان عمارت‌ها و کوشک‌ها بیشترین توجه و هنر معماری را دارا می‌باشد.

۳-۱- نحوه‌ی قرارگیری عمارت در عرصه‌ی باغ

تحلیل‌های انجام شده بر روی نحوه‌ی استقرار عمارت‌های موجود در چهار باغ مذکور نشان می‌دهد که در دو باغ فتح آباد و شاهزاده، عمارت‌ها در محدوده‌ی عرصه‌ی باغ واقع شده و در باغ سالار کلانتر، عمارت اصلی در مرکزیت گستره‌ی باغ جانمایی شده است. در حالی که قرارگیری عمارت‌های باغ بیرم‌آباد به نحوی است که کوشک هشت‌ضلعی در محدوده‌ی مرکزی باغ قرار گرفته است و عمارت شاه‌نشین از حصار باغ خارج شده است و بخشی از آن خارج از حریم باغ قرار دارد (جدول ۱).

جدول ۱- نحوه‌ی قرارگیری عمارت در عرصه‌ی باغ

منبع: نگارندگان

باغ سالار کلانتر	باغ شاهزاده		باغ فتح‌آباد		باغ بیرم‌آباد		تعداد عمارت
۱	۲		۲		۲		۲
مرکز باغ	عمارت سردر ^۲	عمارت اصلی ^۱	عمارت چهار فصل ^۲	عمارت اصلی ^۱	کوشک هشت‌ضلعی ^۲	عمارت شاه‌نشین ^۱	نحوه‌ی استقرار عمارت در باغ
	داخل محدوده‌ی باغ	$\frac{1}{3}$ انتهایی باغ	داخل محدوده‌ی باغ	$\frac{1}{3}$ انتهایی باغ	مرکز باغ	خارج از حصار باغ	
							موقعیت عمارت در پلان

بررسی وجوه شباهت و تفاوت باغ‌سازی باغ بیرم آباد و سایر باغ‌های منطقه کرمان؛ صفحات ۱۰-۱
جدول ۲- تعامل بصری عمارت‌ها - منبع: نگارندگان

	 		 	عکس
---	--	---	--	------------

۳-۲- تعامل بصری عمارت‌ها نسبت به یکدیگر

موقعیت قرارگیری عمارت‌های واقع شده در دو باغ شاهزاده و فتح‌آباد به نحوی است که دو عمارت از لحاظ بصری با یکدیگر در ارتباط هستند. همان‌طور که در پلان باغ فتح‌آباد مشخص می‌باشد در عمارت مرکزی و چهار فصل علی‌رغم این‌که در یک محور اصلی قرار نگرفته‌اند اما به شکلی طراحی شده‌اند که با یکدیگر تعامل بصری دارند. قرارگیری عمارت سردر و عمارت اصلی در باغ شاهزاده به

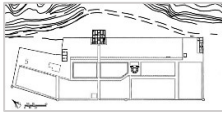
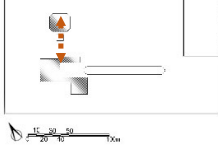
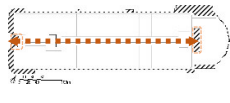
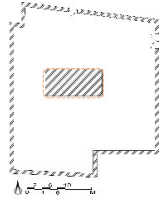
طریقی صورت پذیرفته است که هر دو بنا در یک محور واقع شده و به طور مستقیم در ارتباط با یکدیگرند. اما همان گونه که در پلان باغ بیرم‌آباد قابل مشاهده است دو عمارت این باغ با فاصله‌ی زیاد از یکدیگر ساخته شده و هیچ گونه وابستگی بصری با یکدیگر ندارند و به طور مستقل هر یک در ارتباط با نظام باغ‌آرایی و منظر پیرامون خود هستند (جدول ۲).

۴- بررسی عناصر طبیعی در نمونه‌های مطالعاتی

در نظام باغ‌سازی ایرانی همواره دو عنصر طبیعی آب و سبزی‌نگی، رکن حیاتی باغ به شمار می‌رود و مادام تلاش بر این بوده است که بیشترین بهره از این عناصر برده شود و متناسب با اقلیم با سازه‌ی معماری همزیستی داشته باشد.

جدول ۳- نظام کاشت و سبزی‌نگی باغ

منبع: نگارندگان

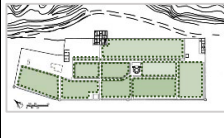
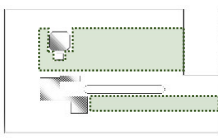
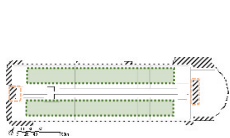
	باغ بیرم‌آباد	باغ فتح‌آباد	باغ شاهزاده	باغ سالار کلانتر
تعداد عمارت	۲	۲	۲	۱
رابطه بصری	ندارد	دارد	دارد	-
موقعیت عمارت در پلان				
عکس	-	 دید از عمارت چهار فصل	 دید از عمارت	-

۴-۱- نظام کاشت و سبزی‌نگی باغ

نحوه‌ی کاشت در باغ بیرم‌آباد به گونه‌ای تعریف شده است که بخش عمده‌ای از وسعت باغ، شامل سبزی‌نگی و پوشش گیاهی می‌باشد. در حالی که در باغ شاهزاده کرت‌ها در مجاورت سه جبهه‌ی باغ تعبیه شده‌اند. با توجه به شواهد موجود در باغ فتح‌آباد چنین به نظر می‌رسد که الگوی پوشش گیاهی در این باغ همخوان با باغ شاهزاده می‌باشد. سبزی‌نگی در باغ سالار کلانتر در مجاورت حصار و عمارت اصلی شکل گرفته است (جدول ۳).

۴-۲- نحوه‌ی حضور آب در باغ

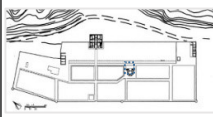
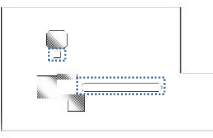
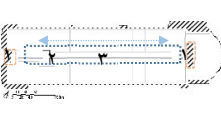
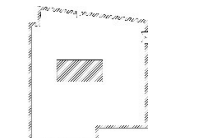
همواره حضور آب یکی از مهم‌ترین عوامل در نظام باغ‌سازی ایرانی بوده که ساخت و ایجاد حوض در ابعاد و فرم‌های مختلف، عاملی در راستای تحقق این امر قرار گرفته است. براساس جدول ۴ جریان آب در دو باغ فتح‌آباد و شاهزاده به نحوی است که حوض و مسیر جریان آب در این دو باغ با محور طولی و اصلی باغ منطبق شده است. در باغ بیرم‌آباد حوض مستطیل شکلی وجود دارد که در مقابل ورودی

وضعیت سبزیگری باغ	باغ بیرم‌آباد	باغ فتح‌آباد	باغ شاهزاده	باغ سالار کلانتر
				

کوشک هشت ضلعی جانمایی شده است و در ارتباط مستقیم با این بنا می‌باشد. محوطه‌ی باغ سالار کلانتر فاقد حوض بوده و جریان آب تنها از طریق مسیرهای تعریف شده جهت آبیاری کرت‌ها تعریف شده است (جدول ۴).

جدول ۴- نحوه‌ی حضور آب در باغ

منبع: نگارندگان

فئات	سرآسیاب	فتح‌آباد	تیگران	سرآسیاب
عکس				
موقعیت حوض				
تعداد حوض	۱	۲	۲ عدد حوض اصلی ^۱ - عدد حوض فرعی ^۲ - حوض‌های نه‌گانه‌ی میانی ^۳	-

نتیجه‌گیری

در نهایت این پژوهش چنین بیان می‌کند که در تمامی باغ‌های ایرانی همواره تلاش شده است که با تلفیق و همزیستی پوشش گیاهی، حضور آب و کالبد معماری فضایی امن و مطبوع جهت زیست انسان فراهم شود. در راستای این امر متناسب با جغرافیای محیط، محدوده‌ی ساخت و سازی باغ و همچنین مهارت معمار نمونه‌های گوناگونی از باغ‌های ایرانی به ارمغان آمده است.

مطالعات صورت گرفته در این پژوهش نشان می‌دهد که در باغ‌های مورد مطالعه علی‌رغم وجود اجزا و ارکان باغ ایرانی به طور کامل، برخوردی متفاوت در مقایسه با الگوی متداول باغ‌سازی در زمینه‌ی جانمایی این اجزا داشته است. در باغ بیرم‌آباد، به عنوان محوریت اصلی این جستار، ویژگی‌هایی نظیر ارتباط نداشتن بناها از لحاظ بصری با یکدیگر و قرارگیری بخشی از عمارت شاه‌نشین در محدوده‌ی خارجی باغ، الگویی نادر از باغ‌سازی را به ارمغان آورده است که نشان از مهارت سازنده‌ی این باغ و همچنین طبیعت و توپوگرافی ویژه در عرصه‌ی باغ دارد و می‌توان آن را شیوه‌ای متفاوت از الگوی باغ‌سازی در کرمان، در راستای ارتباط بیشتر انسان با طبیعت به عنوان خصیصه‌ی اصلی باغ‌های ایرانی دانست. ذکر این نکته ضروری است که بررسی علل مؤثر بر موقعیت قرارگیری متفاوت عمارت شاه‌نشین نسبت به سایر عمارت‌های درون باغی و متفاوت بودن الگوی جانمایی کوشک‌ها نسبت به یکدیگر، نیازمند مطالعات بیشتر توسط سایر پژوهشگران این حوزه می‌باشد.

منابع

- جیحانی، محمد رضا، و نجمه قاسمی‌پور افشار. ۱۳۹۴. "نگاهی به ارزش‌های باغ‌سازی در کرمان با توجه به دو باغ بیرم‌آباد و سالار کلانتر". اولین کنفرانس تخصصی معماری و شهرسازی ایران، خرداد. ۲۶: ۲۳۹۹-۲۳۹۴.
- سلطان‌زاده، حسین. ۱۳۷۸. تداوم طراحی باغ ایرانی در تاج محل (آرامگاه بانوی ایرانی تبار). تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی.
- سلطان‌زاده، محمد، و محمدعلی اشراف گنجویی. ۱۳۹۲. "وجوه تمایز و تشابه باغ بیرم‌آباد و فتح‌آباد کرمان با یکدیگر و باغ ایرانی". باغ نظر. ۷۹-۸۸.
- شاه‌چراغی، آزاده. ۱۳۹۱. پارادایم‌های پردیس (درآمدی بر بازشناسی و بازآفرینی باغ ایرانی). تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران.
- گلاب‌زاده، محمد علی. ۱۳۹۱. کرمان در آینه گردشگری. کرمان: ولی.
- نعیم، غلام‌رضا. ۱۳۹۲. باغ‌های ایران - که ایران چو باغیست خرم بهار. تهران: پیام.



فضاها و گونه‌ها: باستان‌شناسی، بوم‌شناسی چشم انداز و مدل‌های

فضایی در پاتاگونیای شمالی^۱

نویسندگان اصلی مقاله (وی. اسچینسون و اس دی. ماتوچی)

نجمه نوری (مترجم)

دانشجوی دکتری باستان‌شناسی، دانشگاه هنر اصفهان

(noori_najmeh@yahoo.com)

چکیده

در بافت پروژه‌ای که در چهارچوب باستان‌شناسی چشم‌انداز بوم‌شناختی اجرا می‌شود، ارائه‌ی یک مدل پیشگویانه از موقعیت محوطه باستانی مبتنی است بر الگوهای گسترده‌ی بوم‌شناسی شکار-جمع‌آوری خوراک (Binford, 2007) که برای مشخصه‌های محیطی ویژه‌ی کناربوم‌های جنگلی-استپی وابسته به ناحیه‌ی خارج از دایره‌ی قطب جنوب به کار می‌رود. برای مدلسازی موقعیت محوطه‌های باستان‌شناختی کومارکا اندینا دل پارالو در 42° (برابر با 42° در منطقه آند) پاتاگونیای شمالی در آرژانتین از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و پردازش عکس استفاده شده است. این مدل با توزیع فضایی محوطه‌های شناخته شده آزموده شده و نشان داده است که پیش‌بینی کننده‌ی خوبی برای موقعیت محوطه‌ها است. برای کاهش هزینه‌های بررسی‌های میدانی فشرده در نواحی‌ای که آثار باستان‌شناختی چندان قابل مشاهده نیستند از روشهای گسترده‌تری بهره گرفته شد.

کلیدواژگان: بوم‌شناسی چشم انداز، مدلسازی فضایی، باستان‌شناسی چشم‌انداز، آرژانتین، پاتاگونیا

¹ . v. Scheinsohn & SD Matteucci, 2004, Spaces and Species: archaeology, Landscape ecology and spatial models in northernia, Befor Farming, 2: 1-11

Spaces and species: archaeology, landscape ecology and spatial models in northern Patagonia

V Scheinsohn and SD Matteucci

Najmeh Noori (translator)

Faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan

Abstract

In the context of a project framed on ecological landscape archaeology, a predictive model of site location is constructed from broad patterns of hunter-gatherer ecology (Binford 2001) applied to the specific environmental characteristics of a sub-antarctic steppe-forest ecotone. Geographic Information System (GIS) technology and image processing are used to model the location of archaeological sites in Comarca Andina del Paralelo 42° (parallel 42° Andean region), northern Patagonia, Argentina. The model is tested against the spatial distribution of known archaeological sites, and shown to be a good predictor of site location. The methodology has wider application as a means of minimising the cost of intensive field surveys in areas with poor archaeological visibility.

Keywords: Landscape ecology, spatial modelling, landscape archaeology, Argentine, Patagonia

۱- مقدمه

اسچینسون^۲ (۲۰۰۱) توانی که رویکرد چشم‌انداز به پژوهشهای باستان‌شناختی پاتاگونیا عرضه می‌کند را ارزیابی کرد. امروزه در عرصه‌ی باستان‌شناسی چشم‌انداز دو دیدگاه نظری عمده وجود دارد که در زیر به آنها اشاره می‌کنیم. برای پاتاگونیا، که بافت محیطی متنوعی دارد، دیدگاه بوم‌شناسانه احتمالاً ثمربخش‌تر خواهد بود.

۱. دیدگاه بوم‌شناسانه، در پیوند با رویکرد روندگرا، متمرکز بر الگوهای استقراری منطقه‌ای یا بهره‌گیری از زمین (Camilli, 1988; Kelly, 1988؛ مقالات مختلف در Rossignol & Wandsnider, 1992؛ Russell, 1995؛ Wandsnider, 1998) با این ادعا که برای تفکیک عناصر چشم‌اندازی که بهره‌برداری انسانی را جذب یا مانع از آن می‌شود، لازم است که انسانها مدتی یک مکان را اشغال کرده باشند.

۲. دیدگاه فراروندگرا، متمرکز بر ادراک چشم‌انداز نمادین (Ashmore & Knapp, 1999; Bender,) (Miller & Gleason, 1994; Tilley, 1994; Yamin Metheny, 1996؛ 1993)، که عمدتاً در اروپا و در متن پژوهشهای باستان‌شناسی تاریخی در ایالات متحده گسترش یافته است.

پژوهش حاضر دیدگاه بوم‌شناسانه را لحاظ کرده و به ویژه به سمت کاربردی کردن مفاهیم و روش‌های توسعه یافته در بوم‌شناسی چشم‌انداز (Forman & Godron, 1986) در پژوهشهای باستان‌شناسی در کومارکا اندینا دل پاراللو در شمال غربی استان چوبوت و جنوب غربی استان ریو نِگرو در پاتاگون یای آرژانتین سوق یافته است. مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه ما ۳۷۰ کیلومتر مربع است و در کنار بوم بین استپ پاتاگونیا و نوار باریک جنگل‌های تابع قطب جنوب در آند-پاتاگونیا واقع شده است (Dimitiri, 1972). در بخش‌های سرایشی و امتداد رودخانه‌ها غلبه با جنگل و چمنزار است. نواحی پست‌تر و مرطوب‌تر و اطراف دریاچه‌ها را مالین‌ها *mallin* (تالابهای پوشیده از چمنزارهای متراکمی از گرامینه [گیاهان خانواده گندمیان]) تشکیل می‌دهد. در نواحی خشک‌تری چون استپ‌ها، پوشش گیاهی عبارت است از بوته‌ها و درختچه‌ها. چشم‌انداز نواحی مرتفع بین ۱۷۰۰ تا ۵۵۰ متر از سطح دریا توسط رودخانه‌های یخ، دریاچه‌های عمیق، دره‌های ۷ شکل و زنجیره‌ای از یخ‌رفت‌ها شکل گرفته است. میانگین دمای سالانه در این ناحیه بین ۴ تا ۸ درجه سانتیگراد و میانگین بارش‌های سالانه در حدود ۲۵۰۰ میلی‌متر است. در کرانه‌های نواحی استپی میانگین بارش‌های سالانه ۹۰۰ میلی‌متر است (Morel, 1990).

² Scheinsohn

این منطقه به خاطر آنکه آثار باستان‌شناختی‌اش چندان قابل مشاهده نیستند، مشکلاتی جدی در تحقیقات باستان‌شناسی محدود در چارچوب منظر بوم‌شناختی ایجاد می‌کند. نمایانی آثار باستان‌شناختی، طبق تعریف شیفر و همکارانش (۱۹۷۸)، استعدادی است که یک محیط معین برای کشف مواد باستان‌شناختی عرضه می‌کند. در نواحی‌ای که آثار کمتر قابل دیدن هستند، هنگامی که تلاش می‌کنیم تا در یک چشم‌انداز، محوطه‌های باستانی پوشیده مانند محوطه‌های مربوط به شکارگران و جمع‌آورندگان خوراک را کشف کنیم با پردردسرت‌ترین شرایط مواجه می‌شویم، به ویژه وقتی که هدف ثبت تمام انواع شواهد باستان‌شناختی در آن چشم‌انداز باشد. همانگونه که آپهام اشاره کرده است «سازگاری‌های شکارگری و گردآوری خوراک ... در آثار بسیار بی‌دوامی متبلور می‌شود که بر اثر فعالیت‌های انسانی بعدی یا مرور زمان به سادگی محو یا نابود می‌شوند» (Upham, 1988: 245). در چنین وضعیتی، ما به سادگی می‌توانستیم با این ادعا که نواحی جنگلی برای شکارگر-گردآورندگان گذشته اهمیتی نداشته و بنابراین شایسته‌ی بررسی نیستند، از مشکلات یاد شده چشم‌پوشیم. اما مدارک و شواهد روزافزون باستان‌شناختی از نواحی جنگلی پاتاگونیا (Belardi et al, 1994; Cruz, 1999; Borrero & Muñoz, 1999; Espinosa, 2000) این استدلال را از نظر عقلانی غیرقابل دفاع کرده است.

برای مقابله با این مشکل کم بودن دید، استراتژی پژوهشی مبتنی بر مدلسازی پیشگویانه‌ی بهره‌گیری از چشم‌انداز را توسعه دادیم (Scheinohn, 2001). نتایج این استراتژی به ما اجازه دادند تا ادعا کنیم که مستندسازی باستان‌شناختی (به آن معنی که در Wandsnider & Camilli, 1992 مطرح شده است) اساساً با بررسی فشرده بهبود می‌یابد. این مقاله روشی را مطرح می‌کند که برای انتخاب مناطقی در کنار بوم‌های استپی-جنگلی جهت بررسی‌های فشرده اقتباس شده است. ما مدل‌های زیست‌شناختی‌ای را به کار می‌بریم که برای پیش‌بینی وضعیت گونه‌ها از روی شرایط محل سکونتشان طراحی شده‌اند. مورد مطالعه ما در اینجا جمعیت هوموساپینس‌ها هستند در بافت چشم‌اندازهای پاتاگونیا. در مدل رفتاری ما که پایه‌ای زیست‌شناختی دارد، مشخصه‌های محیطی عوامل و نمایندگان اساسی برای پیش‌بینی نقاطی هستند که در گذشته فعالیت‌هایی انسانی در آنها صورت گرفته است. این مدل و پیش‌بینی‌هایش سپس با سایر مدارک باستان‌شناختی منطقه تطبیق داده خواهد شد.

۱-۱- بوم‌شناسی چشم‌انداز و باستان‌شناسی

مدل ناحیه-ماتریکس-کریدور^۳ که در بوم‌شناسی چشم‌انداز پرورده شده است (Forman & Godron, 1986) به راستی برای پژوهش‌های ما در پاتاگونیا مناسب است. یک ناحیه قطعه‌ای از سطح زمین است که در طبیعت و سیمای ظاهری از محیط اطرافش متفاوت است. یک کریدور نوار درازی است که از نواحی دو طرفش متفاوت است. ناحیه و کریدور، هردو در یک ماتریکس یا سنخ پوشش زمینه با بالاترین

³ patch-matrix-corridor

ارتباط جای دارند. یک چشم‌انداز از این سه عنصر فضایی شکل می‌گیرد. کریدورها چشم‌اندازها را از هم جدا کرده و یا به هم پیوند می‌دهند و می‌توانند به عنوان مسیرهای جابه جایی گونه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. جابه‌جایی انسان‌ها و حیوانات غیرتصادفی هستند و از ساختار چشم‌انداز، که آرایش ویژه‌ی عناصر فضایی است، اثر می‌پذیرند.

این نوع تحلیل برای مناطقی شبیه منطقه‌ی مورد مطالعه ما، که موانع و محدودیت‌ها مهم هستند، سودمند است. این موانع و محدودیت‌ها را ناهمواریهای سخت، شیب‌های تند، زمین‌های مرطوب، جنگلهای انبوه و... به وجود می‌آورند. انسانها می‌توانند عناصر مختلف چشم‌انداز را باهم ترکیب کرده و از این عدم یکنواختی بهره ببرند (Forman & Godron, 1986: 497). همانند ناحیه‌ی استپی-جنگلی مورد مطالعه، در یک کناربوم نیز بیشترین ناهمگونی وجود دارد. علاوه بر این، وجود یک محیط قابل انتقال به نسل‌های بعد (Forman & Godron 1986:497)، که در آن تغییرات محیطی اعمال شده توسط یک نسل تصمیمات و یادگیری نسل بعدی را محدود می‌کند و باعث پدیداری زیاد محوطه‌های دارای هنر صخره‌ای و اسباب و وسایل سکونت (از قبیل سفال و ابزارهای سنگی، بنگرید به ادامه) می‌شوند، در اینجا حائز اهمیت است. از این‌رو، انسانها می‌توانستند استقرار خود در این ناحیه را در نقاط معینی از چشم‌انداز متمرکز کنند؛ پاره‌ای به خاطر محدودیتهایی که در ادوار مختلف گریبانگیرشان می‌شد و پاره‌ای به خاطر تسهیلات و امکاناتی که در هر نسل در دسترس قرار می‌گرفت.

ما بر این امر واقفیم که رویکرد ما را می‌توان به عنوان رویکردی که بر جزم‌گرایی محیطی مبتنی است مورد انتقاد قرار داد، اما ما با ون لوزن^۴ (Gaffney & van Leusen, 1995: 370) موافق هستیم که با استفاده از مدلی با چنین مشخصه‌هایی در مجموعه‌ی داده‌ها «می‌توان با حذف الگوهای محیطی داده‌ها، دید روشن‌تری از عوامل فرهنگی‌ای که ممکن است بر آن داده‌ها تأثیر داشته‌اند به دست آورد». همانند تحلیل تافونومی^۵، که ما را قادر می‌سازد تا روندهای طبیعی و فرهنگی مؤثر بر شکل‌گیری یک محوطه را تفکیک کنیم، این تمرین «تمیز کردن داده‌ها» به ما کمک می‌کند تا الگوهای فضایی مشتق شده از عوامل محیطی و فرهنگی را بشناسیم.

از جنبه‌ی عملی، مدل‌سازی ما هزینه‌های زمانی و آزمایشگاهی لازم برای بررسی فشرده‌ی مناطقی که آثار باستان‌شناختی آنها کمتر پدیدار هستند را در نظر می‌گیرد. ادغام روشهای سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و پردازش تصویر به ما اجازه می‌دهد تا نقاطی که قبلاً پژوهش نشده‌اند را برگزیده و مدل ناحیه-ماتریکس-کریدور خودمان را آزمایش کنیم.

⁴ Van Lesun

^۵ تافونومی علمی است که فرایند از مرگ تا فسیل شدن ارگانیسم‌ها را مطالعه می‌کند.

۱-۲- سیستم اطلاعات جغرافیایی و باستان‌شناسی

اگرچه کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در باستان‌شناسی در دهه‌ی ۱۹۸۰ میلادی آغاز شد، اما تنها پس از انتشار اولیه کتاب آلن و همکارانش در ۱۹۹۰ بود که کاربرد این روش به صورت مداوم افزایش یافت. در اوایل کار، از این سیستم برای تهیه فهرست داده‌ها و مواد استفاده می‌شد، اما آهسته آهسته شروع کردند به استفاده از آن برای مطالعه‌ی رفتار انسانها در تعیین مکان زندگی‌شان، تا علل استقرارشان را بشناسند. در آمریکای شمالی باستان‌شناسان به دلیل نیازهای مدیریت منابع فرهنگی (CRM) خیلی زود GIS را بکار گرفتند، اما در اروپا ادغام GIS با برنامه‌های تحقیقاتی با سرعت کمتری صورت گرفت.

در زمینه‌ی توسعه کاربردهای GIS در باستان‌شناسی گرایشهای متمایزی در اروپا و آمریکا وجود دارد (Harris & Lock 1995).

۱. سیستم CRM با تمرکز بر ثبت و مدیریت اطلاعات باستان‌شناختی. در آغاز از آن برای ثبت و مدیریت اطلاعاتی که به صورت دستی از سایتها جمع آوری شده بود استفاده می‌کردند. این سیستم اکنون در شمال آمریکا بر مدل‌های پیش‌بینی موقعیت محوطه‌ها تمرکز دارد (Allen 1999; Judge & Sebastian, 1988; et al, 1990) در حالیکه قرینه‌ی اروپایی آن درگیر طراحی ساختار چشم‌انداز فرهنگی، ساختار داده‌ها و مشخصات فضایی و فیزیکی محوطه‌ها است (Harris & Lock, 1995). این تفاوت‌ها ریشه در ویژگی‌های فیزیکی شواهد باستان‌شناسی در دو قاره دارند. شواهد باستان‌شناختی در اروپا نسبت به شمال آمریکا از نظر فیزیکی و فضایی متراکم‌تر و متنوع‌تر هستند و چشم‌انداز فرهنگی پیچیده‌تری را می‌آفرینند (Harris & Lock, 1995).

۲. سنت آمار فضایی، با ریشه‌ای ژرف در ایالات متحده، که از اهمیت طراحی پیشگویانه برای موقعیت محوطه در پیوند با چهارچوب نظری روندگرا بیرون آمد.

۳. سنت باستان‌شناسی چشم‌انداز که بر باستان‌شناسی اروپا چیره است. این رویکرد با تمرکزی که بر مفهوم فرهنگی ارتباطات فضایی شناخته شده میان عناصر مختلف چشم‌انداز دارد تعریف می‌شود و به کلی با باستان‌شناسی چشم‌اندازی که با بوم‌شناسی چشم‌انداز در پیوند است تفاوت دارد.

یکی از اهداف این مقاله بسط مدل پیشگویانه است. روش ما با سنت‌های مدل‌سازی ذکر شده در بالا پیوند دارد. تفاوت اصلی بین رویکرد ما و رویکردهای مذکور این است که رویکردهای مذکور به شیوه‌ای استقرایی بسط یافته بودند، یعنی محوطه‌های شناخته شده در یک منطقه را بررسی می‌کردند و به صورت آماری پیوندهای آنها با ویژگیهای محیطی را جستجو می‌کردند. ما در بوم‌شناسی موردی

چشم‌انداز و بوم‌شناسی شکارگران- جمع‌آوردگان، برای پیش‌بینی موقعیت محوطه‌ها، از دیدگاه قیاسی، که از دانش نظری آغاز می‌کند و در ادبیات باستان‌شناسی حضور چندانی نداشته است، بهره گرفته‌ایم.

۳-۱- باستان‌شناسی در CA42

تحقیقات باستان‌شناسی در این ناحیه برای این آغاز شد که بفهمیم جنگل‌های پاتاگونیایی آند چه نقشی در استراتژی‌های معیشتی شکارگران- جمع‌آوردگان در گذشته داشته‌اند. ابتدا پروژه صرف بررسی و حفاظت محوطه‌های حاوی هنر صخره‌ای شد (Bellelli et al 1998; Bellelli et al 2000 a, b; Podestá et al 2000). سپس، پژوهش را بر جنوب CA42 در کولایلا متمرکز کردیم. در این محل یازده محوطه و تعداد زیادی دست‌آزار پراکنده یافت شد (جدول ۱). شش محوطه در قسمت‌های هموار بادرفته یافت شدند، که همان مناطقی هستند که مصنوعات سنگی در آن یافته شدند (Los Guanacos 1 to 3 and Juncal de Calderón 1 to 3, Bellelli et al 2000 a, b). از یازده صخره‌ای بودند (Cerro Pintado, Raimapu, El Peñasco, see Bellelli et al 2000 a, b). از یازده محوطه‌ی مذکور تنها محوطه‌ی سرو پینتادو (CP) کاوش شده است. این پناهگاه صخره‌ای در ارتفاع ۶۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. آثار هنر صخره‌ای در پانلی به درازای ۹۵ متر بر بدنه‌ی این پناهگاه ایجاد شده است. تاریخ‌گذاری رادیوکربن از نهشت‌های کف پناهگاه زمانی بین ۱۸۷۰±۸۰ تا ۶۸۰±۶۰ سال پیش را نشان داده است (Bellelli et al 2004). گونه‌شناسی مشخصه‌های تصویری هنر صخره‌ای و دست‌ساخته‌ها در این محوطه‌ها نشان می‌دهد همه‌ی آنها به یک دوره تعلق دارند (Bellelli et al 2004). هنر صخره‌ای و دیگر داده‌های باستان‌شناختی این ناحیه با محوطه‌های استپی و محوطه‌های جنگلی مجاور متعلق به اواخر عصر هولوسن همانندیهای سبکی و تکنیکی دارد (Bellelli et al 2004).

جدول ۱: محوطه‌های منطقه مورد مطالعه (همچنین بنگرید به شکل ۵)

Number	Name	Description
1	Cerro Pintado	Stratified rockshelter with rock art
2	Campo Cifuentes	Burial, "chenque"
3	El Peñasco	Rockshelter with rock art
4	Juncal de Calderón 1	Surface site
5	Juncal de Calderón 2	Surface site
6	Juncal de Calderón 3	Surface site
7	Los Guanacos 1	Surface site
8	Los Guanacos 2	Surface site
9	Los Guanacos 3	Surface site
10	Lili 2	Boulder with rock art
11	Raimapu	Rockshelter with rock art

۲- مدل‌های رفتاری

برای ساختن مدلی برای پیش‌بینی توزیع محوطه‌ها از دو منبع آغاز کردیم:

۱- اطلاعات باستان‌شناختی موجود از پاتاگونیای اواخر دوره هولوسن (Borrero 2001, Mena 1997):

(Scheinsohn 2003)

۲- مدل‌هایی که ویژگی‌های اقلیمی را با پایگاه داده‌های اخیر^۶ شکارگران-گردآورندگان همبسته

می‌کنند (Binford, 2001)

طی ۳۰۰۰ سال اخیر، شکارگران-گردآورندگان زیادی در این ناحیه ساکن شدند. آن‌ها تماسهایی با کشاورزان غرب کوردیلرا داشتند، اما گیاهان تولید شده توسط انسان نقشی اساسی در امرار معاش نداشتند (Mena 1997). سفال از حدود هزار سال پیش وارد داده‌های باستان‌شناختی می‌شود (Casamiquela, 1965; Escalada 1949).

حضور اروپاییان از راه‌های مختلف، که برخی از آنها خود را در داده‌های باستان‌شناختی نشان می‌دهند، بر شکارگران-گردآورندگان تأثیر گذاشت. در اوایل مستعمره نشین‌های اسپانیایی در پامپاس کاری از پیش نبردند و به وطن خودشان بازگشتند و چهارپایان خود را در حیات وحش به جا گذاشتند. بهره‌گیری از اسب، که از همین زمان آغاز شد، زندگی تمامی اهالی پاتاگونیای را تا حدی تحت تأثیر قرار داد (Scheinsohn, 2003). آنچه انسان‌شناسان آمریکای شمالی «عقده‌ی اسب»^۷ نامیده بودند در آمریکای جنوبی بیان خودش را با معرفی روش‌های اروپایی در سوارکاری و زین و برگ اسب، به اضافه ابداعات تازه مانند انواع خاصی از زین، رکاب و افسار یافت.

در اوایل قرن شانزدهم میلادی، روندی معروف به *araucanización* آغاز شد. طی این روند مردمان مپوچی^۸ که در اصل ساکن شیلی^۸ بودند شروع کردند به نفوذ در میان ساکنان شرقی کوردیلرا و تحت تأثیر قرار دادن آنان، و تا قرن هجدهم میلادی جایگزین ساکنان اصلی شدند. تأثیر آنان تا اقصی نقطه‌ی جنوبی قاره پیش رفت. مپوچی‌ها مردمانی باغبان بودند که بافندگی و فلزگری نیز می‌کردند و تجارت اسب را در کنترل خود داشتند. آنان در قرن شانزدهم، گله‌های اسبهای وحشی پراکنده شده را به کالای اصلی تجارت خود تبدیل کردند. در فاصله قرون هجدهم و نوزدهم، که این گله‌های وحشی در پامپاس

^۶ Horse complex

^۷ Mapuche

^۸ Chile

رفته رفته کوچک شدند، مایوچی‌ها شکار خودشان را با تاخت و تاز به مراتع به دست می‌آوردند. آنان قسمتی از گله را نگه داشته و بقیه را در شیلی می‌فروختند تا بتوانند محصولات جدیدی را که مورد نیازشان بود تهیه کنند. سرانجام، مایوچی‌ها از نظامیان آرژانتینی شکست خورده و اجتماعشان به طرز اسفباری نابود گردید. بازماندگان ایشان به کارهای روستایی برگشتند.

اطلاعات فراوان مردم نگارانه‌ای در مورد شکارگران-گردآورندگان پاتاگونیا در دسترس داریم (Musters 1997; Cox 1999; Claraz 1988)، با وجود این، چون آن اطلاعات به عنوان یک منبع داده برای ساختن مدل رفتاری ما قابل اطمینان نبودند، تصمیم گرفتیم که به آنها اتکا نکنیم.

اولاً، وقایع‌نگاری‌های کهن مغشوش بودند و در ثبت اطلاعات روشمند نبودند. این وقایع‌نگاری‌ها گروه‌های بومی را به صورت‌های مختلفی نام برده‌اند که با نامهایی که خود بومی‌ها بر خود نهاده بودند مطابق نیستند (Nacuzzi 1998). همان‌طور که ناکوزی^۹ اشاره کرده است، بسیاری از نام‌های گروه‌های قومی متنوع و ترکیبشان اکنون در دست بررسی هستند. بعلاوه، وقایع‌نگاری‌های متأخرتر و مفصل‌تر بعد از ورود اسب به درون این گروه‌ها نوشته شده‌اند، که این قضیه تصویر آنها از گذشته‌ی دور این جوامع را محدود می‌کند. ثانیاً، آنگونه که بوررو^{۱۰} (2001) خاطرنشان کرده، طبقه‌بندی مردم‌نگارانه‌ای که می‌شناسیم تنوع فرهنگی واقعی را که وجود داشت پوشیده نگاه می‌دارند، زیرا در بافتی که توسط فاتحان اروپایی انتقال یافته‌اند به کار رفته‌اند. مهم‌ترین نکته، که باز توسط بوررو ذکر شده، این است که فرمولی که بر اساس آن بتوانیم رده‌های مصنوعات باستان‌شناختی را به واحدهای قومی برگردانیم وجود ندارد (Borrero, 2001). به همین دلیل ما از نظریه‌ای که بینفورد (2001) برای بازسازی گروه‌های شکارگر-گردآورنده پیشنهاد کرده است پیروی کرده‌ایم. وی بر اساس داده‌های محیطی و پایگاه داده‌ی گروه‌های شکارگر-گردآورنده‌ی دوره‌های متأخرتر مدلی برای پاسخ‌های احتمالی بشر به شرایط محیطی‌اش طراحی کرد. بر طبق این تحلیل تطبیقی، ما باید مواردی از جمله اینکه در این منطقه‌ی وابسته به ناحیه‌ی خارج از دایره‌ی قطب جنوب رژیم غذایی گروه‌های شکارگر-گردآورنده مبتنی بر حیوانات بومی منطقه بوده؛ بسیار پویا بوده‌اند؛ تکنیک‌هایشان را توسعه داده‌ند تا هزینه‌های این پویایی را کاهش دهند؛ و از مواد بوم‌آورد برای ساخت مسکن و حمل و نقل بهره برده‌اند، را در نظر داشته باشیم (Binford, 1990: 2001). به طور دقیق‌تر، با توجه به شرایط آب و هوایی، می‌توان انتظار داشت که گروه‌های شکارگر-گردآورنده در این منطقه برای امرار معاش بیشتر بر شکار متکی بوده‌اند، که می‌بایست

⁹ Nacuzzi

¹⁰ Borrero

۶۵ درصد مواد غذایی آنان را تشکیل داده باشد (Binford, 2001). کالای مصرفی اصلی باید از گونه هومل^{۱۱} و گواناکو^{۱۲} بوده باشد که در واقع بسیاری از محوطه‌های باستانی ثبت شده است.

هومل (*Hippocamelus bisulcus*) تنومندترین گوزن بومی منطقه است که قدش، تا روی پشت تقریباً به یک متر می‌رسد و حداکثر وزنش ۱۰۰ کیلو است. این حیوان تابستانها را در ارتفاعات سخت جنگلی سپری می‌کند و زمستانها به طرف جنگل‌های راش پایین می‌آید. هومل‌ها حیواناتی منزوی هستند که گاهی یک خانواده سه نفره‌ای (پدر، مادر و بچه) را تشکیل می‌دهند. با وجود خوی انزوا طلبانه‌ی این حیوان، برخی از وقایعنامه‌ها به جمعیت زیاد آنها در منطقه مورد مطالعه ما اشاره کرده‌اند (Moreno, 1999).

گواناکو (*Lama guanicoe*) یکی از شترسانان بومی است، با قدی تا ۱/۷۵ متر و وزن ۱۲۰ کیلو، که در گله‌های بزرگ در استپ‌های پاتاگونیای و کوهپایه‌های آند زندگی می‌کند. این حیوان در علفزارهای خشک و تالابها می‌چرد. گواناکو کوهنورد ماهری است و به آسانی از صخره‌های سخت بالا می‌رود. نوشته‌های تاریخی روش‌های مختلفی که برای شکار آنها به کار می‌رفت را ذکر کرده‌اند. گاه آنها را با آتش یا سگ محاصره می‌کردند و گاه با اسب آنها را تعقیب کرده و با بولا^{۱۳} آنها را صید می‌کردند (Mengoni Goñalons 1995).

با توجه به اطلاعات موجود در رابطه با تکنولوژی حمل و نقل، شکارگر-گردآورندگان این ناحیه را می‌توان به دو گروه طبقه‌بندی کرد. پیش از ۱۵۰۰ میلادی شکارگر-گردآورندگان پیاده مسافرت می‌کردند (شکارگر-گردآورندگان پیاده). این گروه شاید از نواحی جنگلی متراکم و تالابی دوری می‌کردند چون راه رفتن در این قسمت‌ها سخت بود. آنان برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و به حداقل رساندن حوادث، از بخش‌های ناهموار و صخره‌ای دوری کرده و حرکت در دامنه‌های شیب دار را ترجیح می‌دادند. از قرن شانزدهم به بعد، با آغاز بهره‌گیری از اسب در زندگی بومی، این حیوان وسیله‌ی اصلی حمل و نقل بود (سوارکاران شکارچی یا گله‌دار). شکارچیان سوار نیازمندی‌های متفاوتی یافتند، از جمله فضاها گسترده‌تر برای حرکت گله‌ها و نواحی پست و مناطقی با شیب ملایم‌تر. به رغم نبود مدارک ویژه در مورد این شکارگر-گردآورندگان در منطقه مطالعه‌ی ما، این واقعیت که آنها در مناطق همجوار حضور داشتند، گنجاندن آنها در مطالعه ما را توجیه می‌کند.

با توجه به مدل‌سازی بینفورد (2001)، می‌توانیم به تفاوت‌های فرضی دیگری بین این دو گونه از شکارگر-گردآورندگان اشاره کنیم. شکارگر-گردآورندگان پیاده از نظر محل سکونت تحرک بالایی

¹¹ Huemul

¹² Guanaco

¹³ بولا یک وسیله‌ی بسیار ساده‌ی پرتابی در شکار بود که عبارت بود از دو وزنه که در دو سر یک طناب محکم شده بود. این وسیله بعد از پرتاب شدن به پاهای حیوان می‌پیچید و امکان حرکت را از وی می‌گرفت.

داشتند که این یک الگوی نیمه کوچرو بود (Binford, 1990). آنها سرمایه‌گذاری چندانی در خانه‌سازی نمی‌کردند و برای ساخت خانه از مصالح بومی و همچنین پناهگاه‌های سنگی و غارها استفاده می‌کردند. در مقابل، شکارگر-گردآورندگان سواره از نظر محل سکونت تحرک بالایی نداشتند و به تبع از نظر سازماندهی تدارکات در سطح بالاتری قرار داشتند. آنها می‌بایست مسیرهای حرکت خود را بر حسب مراتع برای گله‌هایشان طراحی کنند و قسمتی از غذایشان را در حین حرکت با خود حمل کنند. آنها در حالیکه مصالح خانه‌ی خود را، که عمدتاً کلبه‌های ساخته شده از تیرهای چوبی و چرم بود، به همراه می‌بردند، در هر کوچ مسافت طولانی‌تری را از اردوگاه اصلی طی می‌کردند.

بنابراین، این امکان وجود دارد که انواع مختلف فضای مناسب برای فعالیتهای معین هرکدام از گروه‌های شکارگر-گردآورنده را تعریف کنیم. ما فضاهایی را که شرایط فیزیکی و زیست محیطی برای این فعالیت‌ها را دارند به عنوان زیستگاه در نظر می‌گیریم. این زیستگاه‌ها باید با توجه به ساختار چشم‌انداز و دسترسی به منابعی مانند مرتع برای بازی، اسب‌ها و احشام، همپوشانی‌هایی داشته باشند. به طور مثال، دو گروه شکارگر-گردآورنده شکار برنامه‌ریزی شده‌ی خود را در یک مکان انجام می‌دادند، هرچند گروه سواره به خاطر تکنولوژی حمل و نقلشان و اینکه قسمتی از غذایشان را حین حرکت با خودشان داشتند، در مضیقه‌ی کمتری بودند. با در نظر گرفتن نیاز به ارزیابی مسیر از لحاظ دسترسی به منابع، و همچنین حضور دیگر گروه‌های انسانی، آنها شاید از نقاط بلند چشم‌انداز برای بازیابی اطلاعات مربوط به سایر گروه‌های انسانی، شکار و غیره استفاده می‌کرده‌اند. همچنین هر دو گروه هنگام بادهای غالب به جستجوی پناهگاه می‌پرداختند. همه‌ی این جنبه‌ها برای تعیین تعریف زیستگاه مورد توجه قرار گرفته‌اند.

ما همچنین تفاوت‌های هر گروه شکارگر-گردآورنده در ایجاد مسیر را در نظر گرفتیم و آن دسته از فضاهای طولانی را که هم امن بودند و هم شرایطی کم هزینه برای گردش در فواصل طولانی داشتند را به عنوان مسیر محسوب کردیم. گروه پیاده می‌توانند در شیب‌های متوسط تا ملایم (به میزان کمتر از ۴۰ درجه، در عمل) و کناره جنگل‌ها حرکت کنند و از زمین‌های تالابی (mallines) دوری کنند. در مقابل، گروه سواره در زمین‌های پست، بازتر و نسبتاً هموار می‌توانند حرکت کنند. بنا بر این مدل رفتاری ساده شده، عواملی مانند نقش برجسته، ارتفاع، عوارض زمین، پوشش گیاهی و بادهای غالب را به عنوان متغیرهایی جهت ساخت مدل فضایی انتخاب کردیم.

۳- روش‌ها و مواد

۳-۱. پردازش تصاویرهای ماهواره‌ای

برای ۲۰۱۱/۸/۱۲، مسیر ۲۳۲، ردیف ۰۸۹ ماهواره ETM 7 که توسط کمیسیون ملی فعالیت‌های فضایی آرژانتین (CONAE) تجهیز شده بود را به کار بردیم. تمام پردازش تصویر با استفاده از نرم افزار

IDRISI 32 انجام شد (Eastman, 1999). تصاویر مرکب دو رنگی تهیه کردیم، یکی با نوارهای ۱، ۲، و ۳ و دیگری با نوارهای ۳، ۴، ۵ تا از آنها به ترتیب برای نمایش سطوح فاقد پوشش گیاهی، رودخانه‌ها و قطعه زمین‌های دارای پوشش گیاهی استفاده کنیم. تصاویر مرکب و نوارها از طریق نمونه برداری مجدد خطی با استفاده از چهار نقطه مرجع از نقشه‌های توپوگرافی در مختصات گاوس کروگر ثبت شدند. مقایسه دقیق بصری با نرم‌افزار ArcView 3.2 (متعلق به ESRI مؤسسه‌ی تحقیقاتی سیستم‌های محیط زیست) مدل (1996) و مشاهده انطباق جاده‌ها و رودخانه‌ها تأیید کرد که تصاویر دقیقاً با نقشه توپوگرافی دیجیتال همپوشانی دارند.

۲-۳. تعیین حریم استقرارگاه‌ها

ما برای به دست آوردن اثر طیفی شش نوع پوشش زمین از هر دسته از سه تا پنج محوطه استفاده کردیم. و در مناطقی که بررسی میدانی شده‌اند محوطه‌های چند ضلعی را بر تصاویر مرکب (کامپوزیتی) دیجیتالی کردیم. آن شش دسته پوشش زمین عبارتند از: ۱. آب‌های عمیق (دریاچه‌ها و رودها) ۲. آب‌های کم عمق و سطحی (دریاچه‌های کم عمق، مسیل‌ها و آبهایی که از ذوب شدن یخ‌ها و برف‌ها جاری می‌شود) ۳. زمین‌های لخت (زمین‌های صخره‌ای یا با پوشش گیاهی بسیار پراکنده) ۴. جنگل-های انبوه ۵. جنگل‌های تُنک ۶. مالین‌ها (علفزارها و تالاب‌های گرامینه‌دار). ما از طریق طبقه‌بندی نظارت شده‌ای که از طبقه‌بندی کننده‌ی مبتنی بر حداکثر احتمال بهره می‌برد نقشه‌ای از پوشش زمین به دست آوردیم. این نقشه‌ی پوشش زمین را با مقایسه‌ی نقاط نقشه با داده‌های میدانی و عکس‌های چشم‌انداز ضبط شده در حین انجام کارهای میدانی در این نقاط اعتبار سنجی کردیم (Bellelli et al 2001; Scheinsohn 2000b). با نرم‌افزار ماژول IDRISI ERMAT پوشش زمین در نقاطی که بررسی میدانی شده‌اند را با پوشش روی نقشه مقایسه کردیم. مدلی که به دست آمد درجه قابل پذیرشی از صحت را نشان داد.

با طبقه بندی دوباره یک نقشه‌ی بولی بدست آورده ایم که در آن ۱ مطابق است با استقرارگاه، و صفر مطابق است با محوطه‌هایی که برای فعالیت‌های انسانی مناسب نیستند. بر این لایه استقرار نقاط دیگری را نیز (قلل کوه‌های منفرد و رشته کوه‌ها، به ویژه آنهایی که جهت شمالی-جنوبی دارند) با شماره ۱ قرار دادیم. با نرم‌افزار کارتا لینکس (Clark Labs 1998)، با استفاده از نقشه توپوگرافی به عنوان پشت صحنه این نقاط را بر روی صفحه دیجیتالی کردیم و در IDRISI ثبت کردیم.

۳-۳. تعیین حریم مسیرها

یک مسیر نمایانگر فضاهایی است که گروه‌های شکارگر-گردآورنده هنگام جابه‌جایی‌ها در فواصل طولانی در آن رفت و آمد می‌کردند و از روی معیارهای مسلم در مدل رفتاری طراحی شده است. این

معیارها عبارتند از: عملی بودن [گذران زندگی] در یک ناحیه، امنیت گروه (که منجر به اجتناب از مناطق حادثه‌خیز می‌شد) و هزینه‌ی فعالیت‌ها.

نخست ضمن به کار بردن یک نقشه توپوگرافی به عنوان پرده پشت صحنه، با نرم‌افزار کارتا لینکس (Clark Labs, 1998) خطوط فاصل را بر روی صفحه نمایش دیجیتالی کردیم. از روی این لایه‌ی بُرداری، با استفاده از نرم‌افزار IDRISI، یک مدل دیجیتالی ارتفاع (DEM) و یک نقشه‌ی شیب ساختمیم. این نقشه اجازه داد که پیکسل‌های با شیب بیشتر از ۴۰ درجه را.

مسیرهای شکارگران سواره از روی نقشه‌ی خطوط فاصل ساخته شد؛ یعنی چندضلعی‌های بسته‌ی محصور در خطوط فاصل ۶۰۰ متر بالاتر از سطح دریا که دشت‌های آبرفتی نسبتاً هموار را احاطه کرده‌اند (Bellell et al 2000a). سپس همین رویه برای چندضلعی‌های بسته‌ی محصور در خطوط فاصل ۶۰۰ تا ۷۰۰ متر بالاتر از سطح دریا هم به کار گرفته شد. از نظر ما این محدوده‌ها مورد استفاده شکارگران پیاده هم بوده است. لایه‌ها (تصاویر) بُرداری [به تصاویر بیت‌مپ Bitmap] تبدیل شدند؛ دریاچه‌ها از مسیرها حذف شدند و یک منطقه حائل به اطراف آنها اضافه شد.

مدل‌های فضایی برای دو گروه سواره و پیاده در مجموع با روی هم قرار دادن مسیر و لایه‌های استقراری (استقرارگاه به اضافه مسیر) به دست آمد.

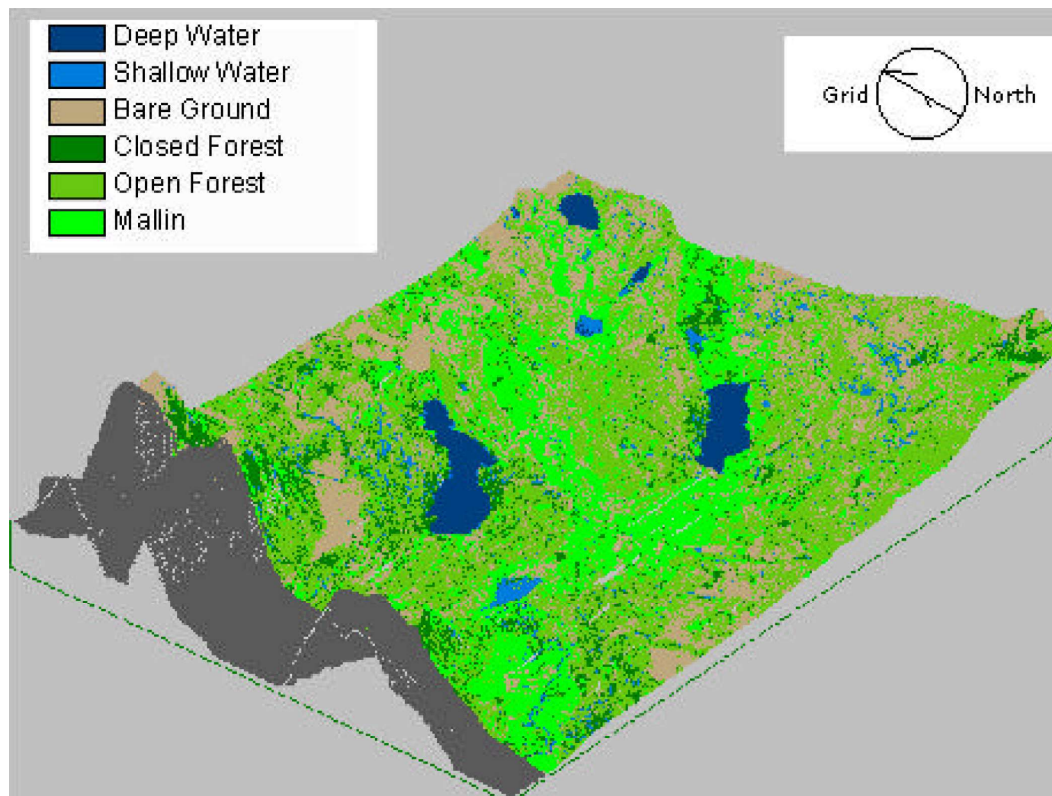
۴- دستاوردها

۴-۱- پوشش زمین

شکل ۱ غلبه‌ی جنگل‌های تُنک را نشان می‌دهد (۴۰ درصد از پیکسل‌ها). این نوع پوشش جنگل‌های بومی پراکنده‌ای را دربر می‌گیرد که مورد حمله‌ی گونه‌های گیاهی خارجی مانند رُزا مَسکویتا^{۱۴} قرار گرفته‌اند. شاید پوشش این نواحی پیش از آمدن مهاجرنشینان انبوه بوده است. زمین‌های لخت، که قطعات پراکنده‌ای هستند، ۲۲ درصد پیکسل‌ها را اشغال کرده‌اند. نواحی متراکم و زمین‌های لخت ارتفاعات هستند صخره‌ای با سطحی پوشیده از استپ‌های تُنک. بنابراین، جنگل‌های انبوه و تُنک (که قبلاً از جنگل‌های متراکم ساخته شده‌اند) و زمین‌های لخت (خاک‌های سنگی یا دامنه‌های پله‌ای) به عنوان استقرارگاه در نظر گرفته نمی‌شوند.

تالاب‌ها (۲۲ درصد از پیکسل‌ها) به صورت کمتر تکه‌تکه ظاهر می‌شوند. آنها مکان‌های ایده‌آلی برای شکار و چرای دام‌ها هستند. این نوع پوشش با آب‌های کم عمق و خطوط ساحلی عمیق دریا به عنوان زیستگاه در نظر گرفته شدند.

^{۱۴} «rosa mosqueta» گونه‌ای گل رُز است که بومی اروپا و غرب آسیا بوده است.



شکل ۱: نقشه پوشش زمین، لایه تماتیک پوشش زمین با مدل ارتفاع دیجیتالی (DEM) نشان داده شده است.

۲-۴- مدل‌های فضایی

فقط ۲۷ درصد از پیکسل‌ها به عنوان استقرارگاه یا نواحی مناسب برای استقرار طبقه‌بندی شدند (شکل ۲). بیشتر پیکسل‌های جدا افتاده و منفرد مربوط به رودخانه‌ها و جریان‌های سطحی آب هستند و همچنین به عنوان مسیر در نظر گرفته شدند. بیشتر پیکسل‌هایی که استقرارگاه هستند متعلق به تکه‌های تالاب‌ها *mallin* هستند.

مسیر شکارگر-گردآورندگان پیاده (شکل ۳) پهن است و ۲۹ درصد از پیکسل‌ها را دربر می‌گیرد، در حالی که مسیر گروه‌های سواره (شکل ۴) ۲۵ درصد را دربر می‌گیرد. مسیر گروه‌های سواره با قطعات بزرگ زمین‌های تالابی همپوشانی دارد، بنابراین، در مدل فضایی شکارگر-گردآورندگان سواره (شکل ۴)، که از روی هم قرار گرفتن لایه‌ی مسیرها و استقرارگاه‌ها به دست آمده است، ۴۰ درصد از پیکسل‌ها دارای پتانسیل باستان‌شناختی هستند. مدل فضایی شکارگر-گردآورندگان پیاده (شکل ۳) گستردگی بیشتری را نشان می‌دهد و به ۴۸ درصد از پیکسل‌ها می‌رسد، زیرا در اینجا همپوشانی‌ای با قطعه زمین‌های بزرگ تالابی وجود ندارد.

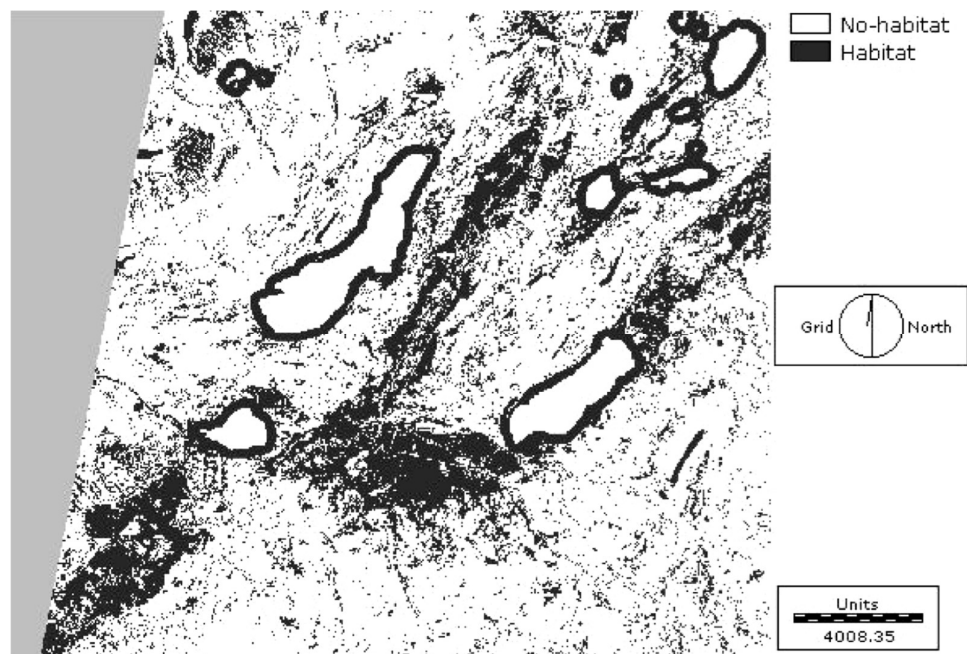
۴-۳- هم‌سنجی مدل‌ها

در نرم‌افزار IDRISI با استفاده از ابزار CROSSTAB، که امکان مقایسه دو متغیر برای تعیین مطابقت بین محوطه‌های باستانی شناخته شده و استقرارگاه و پیکسل‌های مدل فضایی (استقرارگاه به همراه مسیر) را فراهم می‌کند، اعتبارسنجی مدل‌ها را انجام دادیم. در این راستا ما یک لایه محوطه باستانی شناخته شده ایجاد کرده‌ایم. از ۱۱ محوطه که در کارهای پیشین کشف شده بودند (شکل ۵، مشکلات مربوط به مقیاس امکان مقایسه گرافیکی را نمی‌دهد)، ۹ محوطه (۸۲٪) در پیکسل‌های استقرارگاه در مدل فضایی قرار گرفتند، که این درجه بالایی از مطابقت را نشان می‌دهد. شش تا از آن محوطه‌ها (۵۵٪) حدود در قطعه زمینهای محل سکونت، به ویژه در زمین تالابی، قرار دارند. آن پنج محوطه دیگر در جنگل‌های تُنک، در نزدیکی تالابها و یا سایر منابع آب هستند (درصد داده‌ها را با به کار بردن جدول‌بندی متقاطع^{۱۵} که مطابقت میان داده‌های نقطه‌ای و داده‌های پیکسلی را محاسبه می‌کند، به دست آمد). شکارچیان به جنگل می‌رفتند برای شکار هومل یا یافتن منابع گیاهی مثل *caña colihue* (گونه‌های نی)، که بارها در نوشته‌های تاریخی به عنوان وسیله‌ای عالی برای ساختن نیزه به آن اشاره شده است. اما این تهاجم‌ها به جنگل کوتاه مدت بود و احتمالاً رد و نشانی باستان‌شناختی از خود بر جای نمی‌گذاشت.

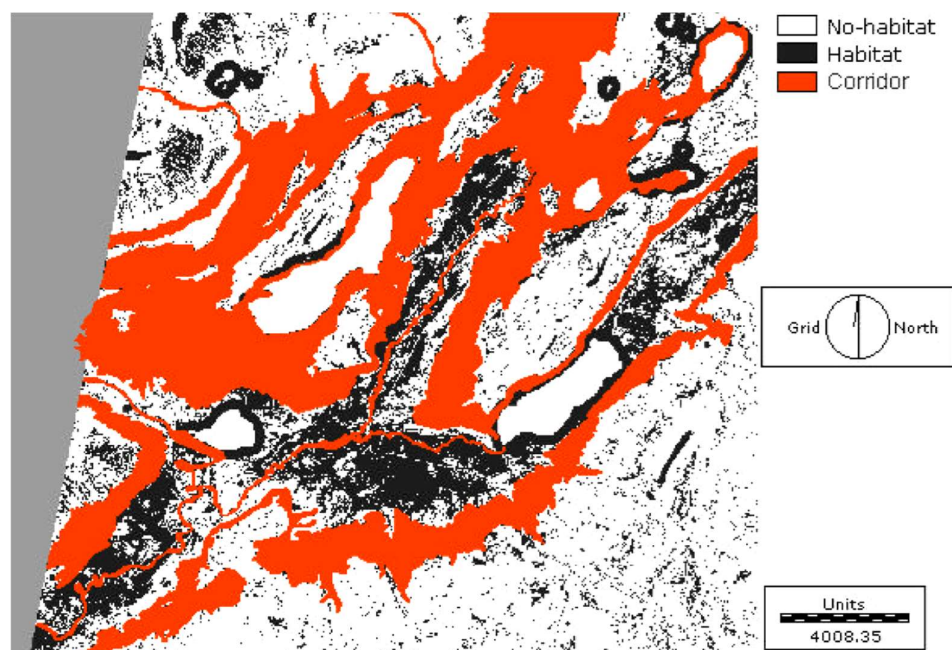
تنها یک محوطه (N°10 = Lili) کاملاً منفرد بود و خارج از هر دو مدل فضایی قرار داشت. سایت مذکور یک تخته سنگ نامنظم است که نقاشی صخره‌ای دارد و در آنجا دست‌ساخته‌ای وجود ندارد. این از آن محوطه‌هایی است که می‌توانیم بگوییم توسط مهاجمین به جنگل ساخته شده است.

بیشتر محوطه‌ها با مدل فضایی شکارگر-گردآورندگان پیاده منطبق هستند. تنها یک محوطه در مدل فضایی شکارگر-گردآورندگان سواره قرار دارد؛ محوطه‌ی سررو پینتادو N° 1. البته با توجه به نزدیکی آن به مدل فضایی شکارگر-گردآورندگان پیاده، دلیلی وجود ندارد که این محوطه را منحصرأ به عنوان یک محوطه مربوط به شکارگر-گردآورندگان سواره در نظر بگیریم. ما هر دو مدل را از نظر تئوری متمایز کرده‌ایم، اما باید بپذیریم که ممکن است در عالم واقع همپوشانی‌های میان این دو مدل رخ دهد. در واقع، موادی که در آنجا یافته شد مدرکی دال بر اینکه شکارگر-گردآورندگان سواره در آنجا ساکن بوده‌اند نیستند. این تنها محوطه باستانی است که نشان می‌دهد که قبل از وارد شدن اسب به آن منطقه مورد سکونت قرار گرفته است.

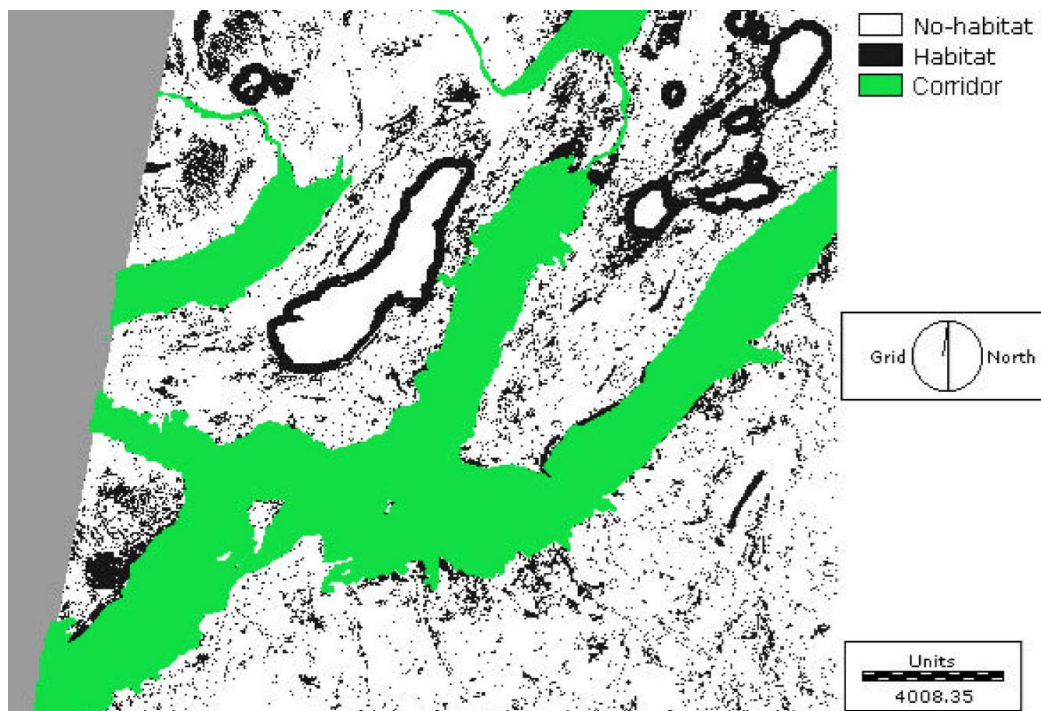
¹⁵ Cross tabulation



شکل ۲: قسمتهای استقرارگاهی



شکل ۳: مدل فضایی شکارگر-گردآورندگان پیاده، مسیرها (نارنجی) با قسمتهای مسکونی با هم تداخل دارند



شکل ۴: مدل فضایی شکارگر-گردآورندگان اسب سوار یا دامدار، مسیرها (سبز) و قسمتهای مسکونی با هم تداخل دارند

اما مشخصه‌ی روند شکل‌گیری این محوطه و لایه گذاری بسیار اندک آن این احتمال را تقویت می‌کند که این محوطه مورد سکونت مجدد قرار گرفته (Binford 1981:9) و شاید لایه‌های قدیم و جدید باهم آمیخته شده‌اند. در هر صورت، محوطه‌ی مذکور در ناحیه‌ای قرار گرفته است که توسط مدل فضایی شکارگر-گردآورندگان پیاده احاطه شده است (figure 5; table 1).

غیر از مورد بالا، جالب است که محوطه‌هایی مانند آنهایی که در جونکال د کالدرون^{۱۶} (figure 5: 4, 5 & 6) و لوس گواناکوس^{۱۷} (figure 5: 7, 8 & 9) اگرچه در نزدیکی مدل شکارگر-گردآورندگان سواره قرار دارند اما به مدل شکارگر-گردآورندگان پیاده تعلق دارند. به رغم فقدان تمایز شفاف بین مدل‌های فضایی شکارگر-گردآورندگان پیاده و سواره، هر دو مدل از لحاظ ظرفیت پیش‌بینی محوطه‌های باستانی واقعی مؤثر بودند.

۵- نتیجه‌گیری

¹⁶ Juncal de Calderón

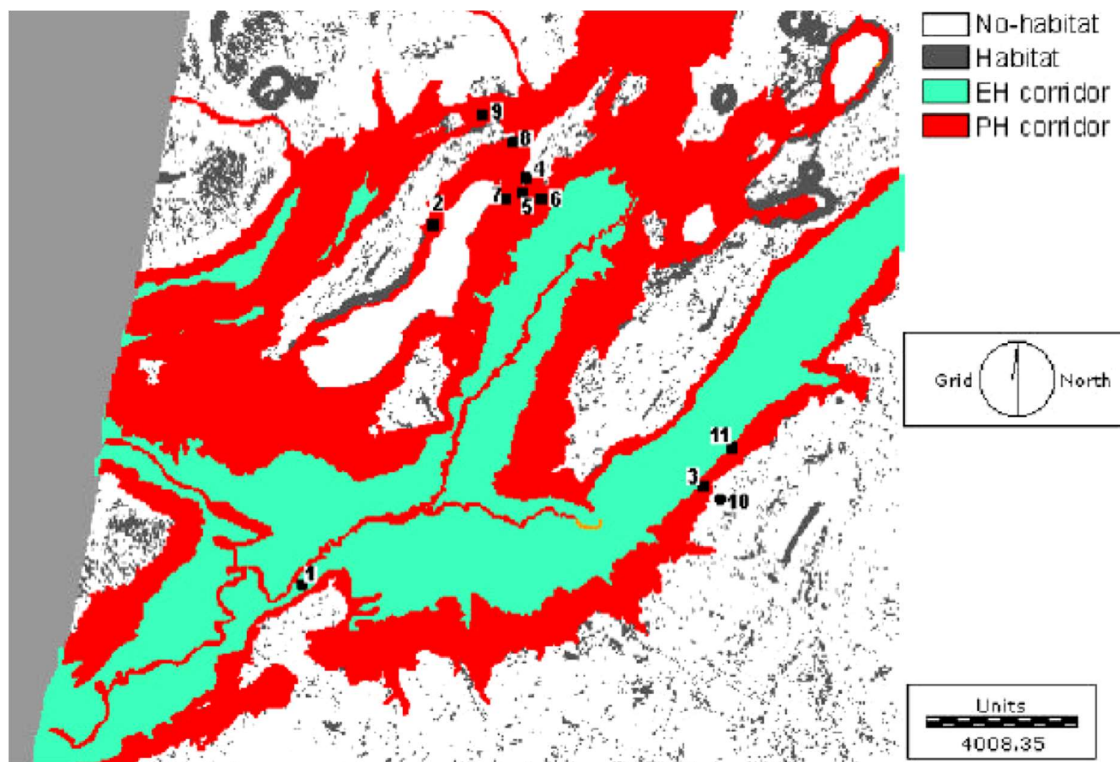
¹⁷ Los Guanacos

مدل‌های فضایی پیشنهادی (استقرارگاه‌ها و مسیرها) پیش‌بینی‌کننده‌های خوبی برای محوطه‌های باستانی شناخته شده در کنار بوم‌های استپی جنگلی هستند. این مدل‌ها نیاز به جستجوی مواد باستانی در نواحی قبلاً بررسی نشده (مانند ریو پدرگوسو^{۱۸}) که وضعیت خوبی به عنوان استقرارگاه‌ها و مسیرها ارائه می‌دهند را خاطرنشان می‌کنند. کارهای میدانی آینده اجازه آزمایشات و پالایش بیشتری این مدل‌های فضایی را خواهد داد. این روش ما را قادر خواهد ساخت تا مدل‌های مشابهی برای ناحیه‌هایی در CA42 که قبلاً مطالعه نشده‌اند بسازیم. بعلاوه، می‌توانیم برای پژوهش گواناکو و هومل، که کالای مصرفی اصلی منطقه مورد مطالعه هستند، بر اساس رفتار فرضی آنها در گذشته مدل‌های فضایی بسازیم. این مدل‌ها برای بهبود ظرفیت پیش‌بینی‌کنندگی خودشان و تسهیل مطالعه‌ی مواد باستان‌شناختی در نواحی‌ای که این مواد کمتر در معرض دید هستند، باید لایه‌های مسلم مربوط به انسان‌های شکارگر-گردآورنده را با لایه‌های تماتیک مربوط به سایر منابع با هم تلفیق کنند.

سپاسگزاری‌ها

مؤسسه Antorchas آرژانتین که بخشی از این تحقیق را پشتیبانی کردند. هیأت باستان‌شناسی CA42° (کریستینا بللی، ماریانا کاربالیدو، پابلو فرناندز و مرسدس پودستا) جورج مورلو و لوآن وندسنیدر. آژانس ملی توسعه علوم و فناوری و CONICET [شواری ملی پژوهش علمی و فنی] آرژانتین بودجه پژوهش‌های باستان‌شناسی در CA42° را تأمین کردند.

¹⁸ Río Pedregoso



شکل ۵: مدل آزمایشی قسمتهای استقرار و مسیرهای شکارگر-گردآورندگان پیاده (نارنجی) و شکارگر-گردآورندگان سواره (سبز) در کنار محوطه‌های باستانی به رنگ سیاه و شماره آنها که در جدول ۱ ذکر شده است.

منابع

- Allen, KMS, Green, SW & Zubrow, EBW (eds) 1990. *Interpreting Space: GIS and Archaeology*. London: Taylor & Francis.
- Ashmore, W & Knapp, AB (eds) 1999. *Archaeologies of Landscape. Contemporary Perspectives*. Oxford: Blackwell Publishers
- Belardi, J, Carballo Marina, M, Hernández Llosas, M & Cepeda, H 1994. Arqueología del Bosque: el área del lago Roca. Lago Argentino, Provincia de Santa Cruz. *Actas y Memorias del XI Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, Segunda Parte, Revista del Museo de Historia Natural XIV N° 1-4: 282-284.
- Bellelli, C, Podestá, MM, Fernández, P, Scheinsohn, V & Sánchez, D 1998. *Imágenes para el futuro. Arte rupestre patagónico, su registro y preservación en la Comarca Andina del Paralelo 42°*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano. CD ROM publication.
- Bellelli, C, Pereyra, FX, Fernández, PM, Scheinsohn, V & Carballido, M 2000a. Aproximación geoarqueológica del sector sur de la Comarca Andina del Paralelo 42 (Cholila, Chubut). *Revista Cuaternario y Ciencias Ambientales Publicación Especial*, 4:15-21.
- Bellelli, C, Scheinsohn, V, Fernández, P, Pereyra, F, Podestá, M & Carballido, M 2000b. Arqueología de la Comarca Andina del Paralelo 42. Localidad Cholila. Primeros resultados. In Belardi, J, Carballo Marina, F, Espinosa, S (eds) *Desde el País de los Gigantes. Perspectivas arqueológicas en Patagonia*. Río Gallegos: Universidad Nacional de la Patagonia Austral:587-602.
- Bellelli, C, Carballido, M, Fernández, P & Scheinsohn, V 2004. El pasado entre las hojas. Nueva información arqueológica del Noroeste de la Provincia de Chubut, Argentina. *Revista Werken* 2004:25-42.
- Bender, B (ed) 1993. *Landscape Politics and Perspectives*. Providence: Berg.
- Binford, L 1981 *Bones. Ancient Men and Modern Myths*. Academic Press: New York.
- Binford, L 1990. Mobility, Housing and Environment: a Comparative Study. *Journal of Anthropological Research* 46(2):119-152.
- Binford, L 2001. *Constructing Frames of Reference. An Analytical Method for Archaeological Theory*
- *Building Using Hunter-gatherer and Environmental Data Sets*. Berkeley: University of California Press.
- Borrero, LA 2001. *El poblamiento de la Patagonia. Toldos, Milodones y Volcanes*. Buenos Aires: Editorial Emecé.
- Borrero, LA & Muñoz, AS 1999. Tafonomía en el bosque patagónico. Implicaciones para el estudio de su explotación y uso por poblaciones humanas de cazadores-recolectores. In Belardi, J, Fernández, P, Goñi, R, Guráieb, A, De Nigris, M (eds) *Soplando en el Viento, Actas de las III Jornadas de Arqueología de la Patagonia*. Neuquén: Universidad Nacional del Comahue/Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano:43-56.
- Boyd, R & Richerson, P 1985. *Culture and the Evolutionary Process*. Chicago: University of Chicago Press.
- Camilli, EL 1988. Interpreting Long-term Land-Use Patterns from Archaeological Landscapes. *American Archeology* 7(1):57-66.
- Casamiquela, R 1965. Rectificaciones y ratificaciones hacia una interpretación definitiva del panorama etnológico de la Patagonia y área septentrional adyacente. *Cuadernos del Sur*, Instituto de Humanidades, Universidad Nacional del Sur.

- Claraz, J 1988. *Diario de viaje de exploración al Chubut*. Buenos Aires: Marymar.
- Clark Labs 1998. *Carta Linx: the spatial data builder*. Worcester: Clark University
- Cox, G 1999. *Viaje en las regiones septentrionales de la Patagonia (1862-1863)*. Buenos Aires: Ediciones El Elefante Blanco.
- Cruz, I 1999. Estepa y bosque: paisjes actuales y tafonomía en el noroeste de Santa Cruz. In Belardi, J,
- Fernández, P, Goñi, R, Guráieb, A & De Nigris, M (eds) *Soplando en el Viento, Actas de las III Jornadas de Arqueología de la Patagonia*. Neuquén: Universidad Nacional del Comahue/Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano:303-318
- Dimitri, M 1972. *La región de los bosques andinopatagónicos*. Colección Científica 10, Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Eastman, J 1999. *IDRISI 32. Guide to GIS and Image Processing*. Worcester: Clark Labs, Clark University.
- Escalada, F 1949. *El complejo tehuelche. Estudios de Etnografía patagónica*. Buenos Aires: Editorial Coni.
- Espinosa, S 2000. Los conjuntos artefactuales líticos de la estepa y el bosque en el Parque Nacional Perito
- Moreno (Santa Cruz, Argentina). In Belardi, J, Carballo Marina, F, Espinosa, S (eds) *Desde el País de los Gigantes. Perspectivas Arqueológicas en Patagonia*. Río Gallegos: UNPA ,Tomo II:357-367.
- ESRI 1996. *Arc View GIS*. Redlands: Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Fernández, PM in press. The huemul (*Hippocamelus bisulcus*) as a resource in the past: a case study in Andean Patagonia. In: Barrientos, G, Gutiérrez, M, Mengoni Goñalons, G, Miotti, L & Salemme, M (eds) *Zooarchaeology and Taphonomy in Argentina*. Oxford: British Archaeological Reports, International Series
- Forman, R & Godron, M 1986. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons.
- Gaffney, V & van Leusen, M 1995. Postscript – GIS, environmental determinism and archaeology: a parallel text. In Lock, G, Stancic, Z (eds) *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*. London: Taylor & Francis:367-382.
- Harris, T & Lock, G 1995. Toward an evaluation of GIS in European archaeology: the past, present and future of theory and applications. In Lock, G & Stancic, Z (eds) *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*. London: Taylor & Francis:349-366.
- Judge, WJ & Sebastian, L (eds) 1988. *Quantifying the Present and Predicting the Past: Theory, Method, and Application of Archaeological Predictive Modeling*. Denver : US Department of the Interior, Bureau of Land Management Service Center
- Kelly, RL 1988. Hunter-gatherer Land Use and Regional Geomorphology: Implications for Archeological Survey. *American Archeology* 7(1):49- 57.
- Kvamme, K 1999. Recent Directions and Developments in Geographical Information Systems. *Journal of Archaeological Research*, 7(2):153-201.
- Mena, F 1997. Middle to Late Holocene Adaptations in Patagonia. In McEwan, C, Borrero, L & Prieto, A (eds) *Patagonia. Natural History, Prehistory and Ethnography at the Uttermost End of the Earth*. London: British Museum Press.
- Mengoni Goñalons, GL 1995. Importancia socioeconómica del guanaco en el periodo Precolombino. In Puig, S (ed) *Técnicas para el manejo del guanaco*. Grupo de Especialistas en Camélidos. Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (UICN).
- Miller, N & Gleason, K (eds) 1994. *The Archaeology of Garden and Field*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.

- Morello, J (ed) 1999. Ambiente Biológico-Ecológico, Provincias Patagónicas. In *Segundo Proyecto de Asistencia Técnica para el Desarrollo del Sector Minero Argentino (PASMA II)*. Ms report presented to Lakefield Research.
- Moreno, FP 1999. *Apuntes preliminares sobre una excursión al Neuquén, Río Negro, Chubut y Santa Cruz*. Buenos Aires: El Elefante Blanco.
- Musters, G 1997. *Vida entre los Patagones*. Buenos Aires: Ediciones El Elefante Blanco.
- Nacuzzi, L 1998. *Identidades impuestas. Tehuelches, aucas y pampas en el norte de la Patagonia*. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Antropología.
- Podestá, M, Bellelli, C, Fernández, P, Carballido, M, Scheinsohn, V & Paniquelli, M 2000. Arte rupestre de la Comarca Andina del Paralelo 42º: un caso de análisis regional para el manejo de recursos culturales. In Podestá, MM & de Hoyos M (eds) *Arte en las Rocas, Arte Rupestre, Menhires y Piedras de Colores en la Argentina*. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Antropología.
- Rossignol, J & Wandsnider, L 1992. *Space, Time and Archaeological Landscapes*. New York: Plenum Press.
- Russell, SC 1995. Geoarchaeological Perspectives on Paleolandscapes and Regional Subsurface Archaeology. *Journal of Archaeological Method and Theory* 2(1):69-104.
- Scheinsohn, V 2001. 2001: Odisea del Espacio. Paisajes y distribuciones artefactuales en arqueología, resultados y propuestas. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* XXVI:285- 301.
- Scheinsohn, V 2003. Hunter-Gatherer Archaeology in South America. *Annual Reviews of Anthropology* 32:339-361.
- Schiffer, MA, Sullivan A & Klinger T. 1978. The Design of Archaeological Surveys. *World Archaeology* 10 (1):1-28.
- Tilley, C 1994. *A Phenomenology of Landscape: Places, Paths, and Monuments*. Oxford: Berg.
- Upham, S 1988. Archaeological Visibility and the Underclass of Southwestern Prehistory. *American Anitquity* 53 (2):245-261
- Wandsnider, L 1998. Landscape Element Configuration, Lifespace, and Occupation History: Ethnoarchaeological Observations and Archaeological Applications. In Sullivan III, AP (ed) *Surface Archaeology* Albuquerque:Univeristy of New Mexico Press:21-39
- Wandsnider, L & Camilli, E 1992.The Character of Surface Archaeological Deposits and its Influence on Survey Accuracy. *Journal of Field Archaeology* 19:169-188
- Yamin, R & Metheny, KB (eds).1996. *Landscape Archaeology: Reading and Interpreting the American Historical Landscape*. Knoxville: University of Tennessee Press.



مروری بر ساختار، خوردگی و درمان مرکب آهن-مازو

اعظم رضانی چرمینه^{۱*}، مهرناز آزادی بویاغچی^۲

۱. کارشناس ارشد مرمت آثار تاریخی و فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان

(azamramezani69@gmail.com)

۲. استادیار حفاظت و مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت اشیاء، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان

چکیده

یکی از روش‌های حفظ و انتقال دانش بشری از نسلی به نسل دیگر کتابت است. مرکب به عنوان یکی از مهم‌ترین لوازم کتابت، نقش مهمی در ثبات و ماندگاری محتوای مکتوبات در طول سالیان متمادی دارد. ولی بعضی از آثار کاغذی به دلیل نوع مرکب مورد استفاده (آهن-مازو)، متحمل خساراتی از قبیل تغییر رنگ و حتی خوردگی شده‌اند. از آن جایی که حفاظت از این آثار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، لذا یافتن راهی جهت بهبود کیفیت و ماندگاری مرکب، می‌تواند گامی مؤثر در این زمینه باشد. این مقاله، مروری بر ساختار مرکب آهن-مازو داشته و مواد تشکیل دهنده، آسیب‌های حاصل از آن و روش‌های درمان را مورد بررسی قرار می‌دهد. نتایج نیز نشان دهنده این مهم است که مرکب آهن-مازو از چهار جزء اصلی مازو، زاج، صمغ عربی و آب تشکیل شده است. هیدرولیز اسیدی و اکسایش، دو عامل اصلی تخریب آثار نگارش شده با این نوع مرکب می‌باشد. به همین دلیل، استفاده از یک قلیا جهت مبارزه با هیدرولیز اسیدی کاغذ و همچنین، آنتی اکسیدان‌ها جهت دخالت در اکسایش، راهی جهت پایدارسازی مرکب آهن-مازو به شمار می‌آید.

کلیدواژگان: آثار کاغذی، حفاظت، مرکب آهن-مازو، پایدارسازی

A review of structure, corrosion and treatment of iron gall ink

Azam Ramezani Charmineh and Mehrnaz Azadi Boyaghchi

Faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan

Abstract

One of the methods of preservation and transmission of human knowledge from one generation to another is writing. Ink as one of the most important parts of writing tool has a crucial role in the stability and durability of the content of written documents over the years. However, some of the paperworks has suffered damages such as color variation and corrosion due to the type of ink used (iron gall ink). Since the protection of these works is of particular importance and finding a way to improve the quality and durability of ink can be an effective step in this field. This paper presents an overview of the structure of iron-gall ink and its ingredients and investigate damages of using this ink and its treatment methods. The results indicate that iron-gall ink formed from four main components including gall nut, vitriol, gum arabic and water. Acid hydrolysis and oxidation are the two main factors of destruction of works written with this type of ink. For this reason, the use of a alkali to combat acid hydrolysis of paper and also antioxidants to interfere with oxidation is a way to stabilize the iron gall ink.

Keywords: Paper works, Conservation, iron-gall ink, stabilization

۱- مقدمه

انسان از دیرباز برای انتقال مفاهیم و نوشتن از مرکب استفاده می کرده است. قدمت استفاده از مرکب به تاریخ نگارش باز می گردد. می توان گفت ساخت مرکب چهل قرن قبل یا بیشتر شروع شده است (آزادی و همکاران، ۱۳۹۵). روش های متعددی برای ساخت مرکب مشکی در رساله های خوشنویسی آمده است و بر اساس عامل تشکیل دهنده رنگ مشکی، این مرکب ها به سه گروه اصلی تقسیم شده اند: ۱. مرکب های دوده ای ۲. مرکب های آهن-مازو (رسوبات سیاه مازو و زاج) ۳. مرکب های مخلوط (دوده و آهن-مازو). به گفته عبدالله کوه دزی تا زمان ابن مقله، همه خوشنویسان از مداد «آب مازو و زاج» استفاده می کردند (پورتر، ۱۳۸۹). مرکب آهن-مازو نوعی مرکب نوشتاری بادوام است که در اوایل دوران مسیحیت از مخلوط کردن عصاره آبی حاصل از مازو با محلول سولفات آهن و صمغ عربی تولید شده است (Baynes-cope, 1998). این مرکب به طور گسترده از قرون وسطی تا اوایل قرن بیستم میلادی برای نوشتن و در وسعت کمتری برای طراحی استفاده شده است (Rouchon et al., 2011). با وجود این که ماندگاری و رنگ پرمایه مرکب آهن-مازو، به گسترش روزافزون آن کمک کرد ولی به دلیل ناپایداری شیمیایی، با گذر زمان دچار تغییر رنگ و حتی آسیب رساندن به تکیه گاه کاغذی شد (Karnes, 1998) که این پدیده را خوردگی ناشی از مرکب آهن-مازو می نامند. دو واکنش هیدرولیز اسیدی و اکسایش فلز کاتالیست، سبب ایجاد این خوردگی می شوند. رطوبت نسبی، دما، مکان نگهداری اشیاء، میزان مرکب مورد استفاده، آهار کاغذ و پیرشدگی طبیعی آثار نیز در خوردگی مرکب اثرگذار است (Marie-flemay, 2013). باتوجه به این امر که آثار کاغذی بی شماری با این نوع مرکب نگارش یافته اند، پایدارسازی آن امری ضروری و حتمی به شمار می رود. برای حفاظت آثار حاوی مرکب آهن-مازو از دو روش فیزیکی و شیمیایی استفاده شده است. روش های فیزیکی، ثبات فیزیکی اثر را در جهت بهبود ظاهر کلی آن ارتقا می دهند ولی تأثیری در توقف یا کنترل خوردگی ندارند (آزادی و همکاران، ۱۳۹۵)، اما در روش های شیمیایی، استفاده از یک قلیا جهت مبارزه با هیدرولیز اسیدی کاغذ و همچنین، آنتی اکسیدان ها جهت دخالت در اکسایش به عنوان راهی مؤثر در راستای پایدارسازی مرکب آهن-مازو و حفاظت طولانی مدت آثار به اثبات رسیده است (Kolar et al., 2007; Kolar et al., 2008).

۲- مواد تشکیل دهنده مرکب آهن-مازو

با وجود این که در منابع مختلف دستورالعمل‌های متفاوتی برای ساخت مرکب آهن-مازو ذکر شده است، ولی مازو، زاج، صمغ عربی و آب به عنوان اجزای اصلی تشکیل دهنده مرکب آهن-مازو در همه دستورالعمل‌ها وجود دارند (شبح، ۱۳۸۱؛ آزادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ سلطانی، ۱۳۹۱):

۲-۱- مازو

مازو، برجستگی‌های کروی شکلی به قطر ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر است که بر اثر گزش حشره مخصوصی به نام سی نیپس گالاتنکتوریا^۱ بر روی جوانه‌های درخت بلوط مازو ایجاد می‌شود. انواع مازو یکی از عناصر کم و بیش ثابت تولید مرکب است (شبح، ۱۳۸۱)، که به عنوان منبعی از تانن مورد استفاده قرار می‌گیرد. نام تانن^۲، از کلمه فرانسوی "Tanin" به معنای ماده دباغی مشتق شده است و برای طیفی از پلی‌فنل‌های طبیعی استفاده می‌شود. تانن در صنایع غذایی، داروسازی، مواد رنگی، دباغی، رنگ کردن پارچه و تولید مرکب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Khanbabaee and Ree, 2001). اجزای فعال در تانن‌ها عبارتند از: گالوتانن و اسیدگالیک (Karnes, 1998). گالوتانن‌ها استرهای اسیدگالیک هستند که در گروه تانن‌های قابل هیدرولیز قرار دارند و از هیدرولیز آن‌ها اسیدگالیک حاصل می‌شود (مسعودی نژاد و رضازاده آذری، ۱۳۸۲) که ماده اساسی و اولیه مرکب آهن-مازو است. در دستورالعمل‌های ساخت مرکب آهن-مازو سه روش مختلف برای استخراج گالوتانن از مازو ذکر شده است (Brewer, 2006): ۱- خرد کردن یا پودر کردن مازو قبل از افزودن به آب یا هر مایع دیگر ۲- جوشاندن مازو به منظور آزاد شدن تانن‌ها ۳- تخمیر مازو توسط کپک که تبدیل‌کننده اسیدگالوتانیک به اسیدگالیک است. این روش با وجود این که وقت‌گیرترین روش است ولی معمولاً تولید سیاه‌ترین مرکب را به همراه دارد.

۲-۲- زاج

نام زاج^۳، از کلمه لاتین "vitrum" به معنای شیشه، گرفته شده و دلیل این نام گذاری، جلای شیشه‌ای آن است. قدمت آشنایی با زاج به حدود ۶۰۰ سال قبل از میلاد و به فهرستی از کلمه‌های سومری برمی‌گردد که انواع زاج با توجه به رنگشان در آن ذکر شده‌اند (Karpenko and Norris, 2002). زاج سبز یا همان کانی ملانتریت^۴ یکی از کانی‌های سولفات آهن‌دار است. این نمک فلزی، در طول تاریخ به عنوان دندان در رنگرزی الیاف و نیز در رنگ کردن چرم کاربرد داشته است (Marieflamay, 2013) و در ساخت مرکب استفاده می‌شود.

۲-۳- صمغ عربی

صمغ‌ها (هیدروکلوتیدها) به مجموعه‌ای از پلی ساکاریدها و پروتئین‌ها اطلاق می‌شوند که در آب، حل یا پخش می‌شوند و ویسکوزیته را افزایش می‌دهند (صالحی و کاشانی نژاد، ۱۳۹۲). به طور معمول، تراوشات صمغی گیاهی در تنه، شاخه و میوه درختان به واسطه حفاظت آن‌ها در برابر صدمات مکانیکی یا حملات میکروبی ترشح می‌شوند و پیشینه استفاده از آن‌ها به ۵۰۰۰ سال پیش تاکنون برمی‌گردد (رحیمی و عباسی، ۱۳۹۳). صمغ عربی، صمغی گیاهی به رنگ زرد روشن تا نارنجی تیره و قابل حل در آب است. این صمغ، عامل پیوند دهنده بی‌نظیری برای مرکب‌ها و رنگ‌ها است (پورتر، ۱۳۸۹). صمغ عربی به چند دلیل برای ساخت مرکب به کار می‌رود: تغییر ویسکوزیته (میزان گرانروی)، روان‌کنندگی، معلق نگه داشتن ذرات رنگدانه نامحلول، چسباندن مرکب به سطح کاغذ و درخشندگی رنگ مرکب (Eusman, 1998). اگرچه استفاده بیش از حد از صمغ عربی، عدم انعطاف‌پذیری مرکب خشک شده و در نتیجه ترک خوردن و پوسته پوسته شدن آن از سطح کاغذ را به همراه دارد (Karnes, 1998).

۲-۴- آب

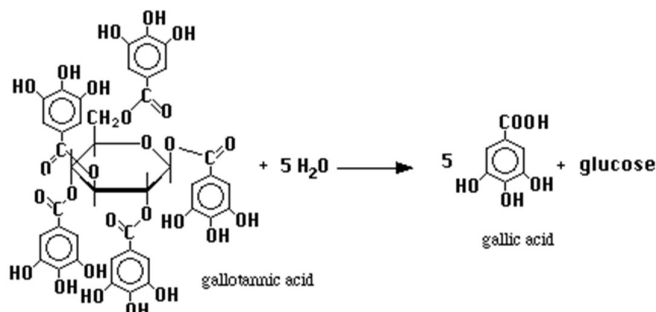
بیشتر مرکب‌های آهن-مازو با آب ساخته شده‌اند. البته خلوص آب به طور گسترده‌ای متفاوت است و اغلب دستورالعمل‌های قدیمی استفاده از آب باران را پیشنهاد کرده‌اند، شاید به این دلیل که آن را خالص‌تر از دیگر منابع آب در دسترس تصور می‌کرده‌اند (Karnes, 1998).

۲-۵- افزودنی‌ها به مرکب آهن-مازو

به منظور تعدیل ویژگی‌های مرکب آهن-مازو، اجزای دیگری نیز به آن اضافه می‌شده‌است (پورتر، ۱۳۷۹؛ Brewer, 2006): رنگینه یا رنگدانه‌های طبیعی مثل نیل، بقم، زعفران؛ منابع دیگری از تانن‌ها از قبیل پوست درخت، پوست انار و مواد نگهدارنده مثل الکل، میخک یا سرکه جهت کاهش رشد کپک.

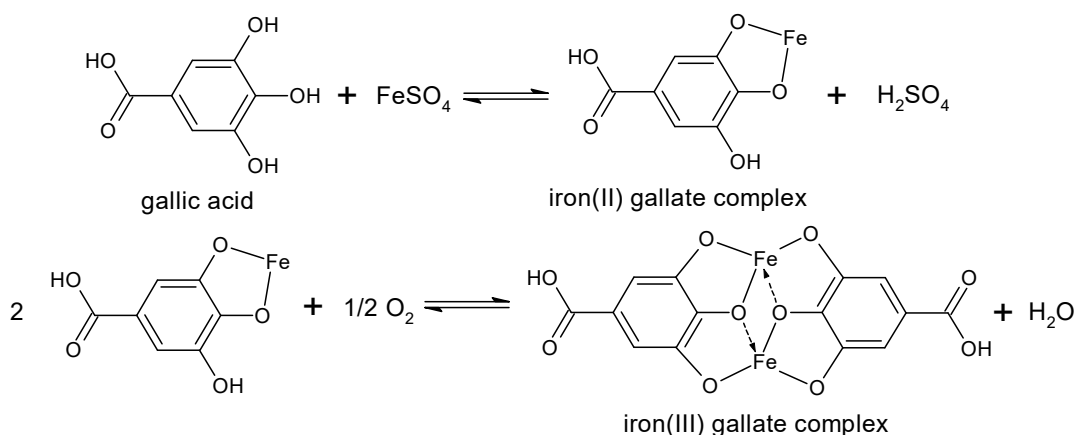
۳- فرآیند شکل‌گیری رنگ مرکب آهن-مازو

تشکیل رنگ مرکب آهن-مازو شامل یک فرآیند شیمیایی چند مرحله‌ای است. ابتدا مازوهای تهیه شده از درخت بلوط، خرد شده تا اسیدگالوتانیک به دست آید. اسیدگالوتانیک با آب مخلوط شده، آب پیوندهای استر اسیدگالوتانیک را می‌شکند و اسیدگالیک شکل می‌گیرد (شکل ۱) (Fruen, 2002).



شکل ۱: شکسته شدن اتصال‌های استری اسید گالوتانیک توسط آب و تشکیل اسیدگالیک (Fruen,2002)

سپس از واکنش اجزای فعال تانن (اسیدگالیک یا اسیدتانیک) با سولفات آهن (II)، نمک فروس گالات شکل می‌گیرد که بی‌رنگ و محلول در آب است (شکل ۲) (Maitland,2009). علاوه بر این در این واکنش، اسید سولفوریک نیز تولید می‌شود که در مرکب باقی می‌ماند. در مرحله بعد، به محض قرار گرفتن در معرض اکسیژن هوا به دلیل اکسیداسیون یون‌های Fe^{2+} به Fe^{3+} ، کمپلکس فروس گالات به فریک پیروگالات که نامحلول و سیاه رنگ است تبدیل می‌شود (شکل ۲) (ibid).



شکل ۲: واکنش اسیدگالیک با سولفات آهن (II) و تشکیل کمپلکس‌های فروس گالات و فریک پیروگالات (Maitland,2009).

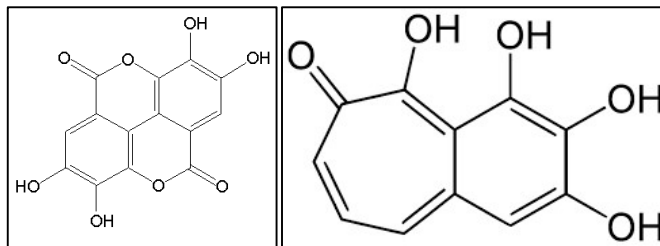
۴- خوردگی مرکب آهن-مازو

تنوع زیاد دستورالعمل‌های مختلف و مواد طبیعی خام، منجر به تخریب قابل تشخیص اجزای گوناگون مرکب آهن-مازو می‌شود و مرکب می‌تواند به سرعت از سیاه به قهوه‌ای زنگ‌زده تغییر کند، به خصوص وقتی که در معرض رطوبت و نور قرار می‌گیرد. همچنین به بافت کاغذ نیز صدمه می‌زند و

باعث ترک برداشتن و حتی خرد شدن کاغذ در محلی که جوهر است می‌شود (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۵). خوردگی ناشی از مرکب آهن-مازو توسط دو مکانیسم هیدرولیز اسیدی و اکسیداسیون اتفاق می‌افتد. از طرفی میزان بالای اسیدسولفوریک و یون‌های آهن موجود در این نوع مرکب نیز روند تخریب را سرعت می‌بخشند (Lojewska et al., 2005).

۴-۱- هیدرولیز اسیدی

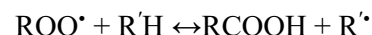
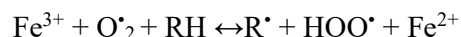
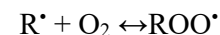
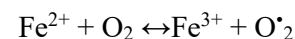
هیدرولیز، یک فرآیند تجزیه شیمیایی است که در آن از آب برای گسستن پیوندهای شیمیایی یک ماده استفاده می‌شود. در هیدرولیز اسیدی، اسید به عنوان کاتالیزور، عمل هیدرولیز را شدت می‌بخشد. در مرکب آهن-مازو به دلیل حضور اسیدگالیک و یون‌های Fe^{2+} ، Fe^{3+} و کمپلکس‌های محلولی که همانند اسیدها رفتار می‌کنند، pH در حدود ۲ تا ۳ است. علاوه بر این در طول آماده‌سازی و تهیه مرکب به سبب آزادسازی پروتون‌ها در طول اکسیداسیون یون‌های Fe^{2+} به Fe^{3+} ، pH در حدود یک واحد کاهش خواهد یافت. حتی ممکن است بعد از چند ماه pH مرکب به قدری پایین برود که در آن محدوده، مقدار قابل توجهی از یون‌های سولفات (SO_4^{2-}) به یون‌های بیوسولفات (HSO_4^-)، تبدیل شوند (Rouchon et al., 2011). از طرفی اسیدسولفوریک نیز به عنوان یکی از محصول‌های تولید شده در مرحله شکل‌گیری رنگ مرکب به همراه اسیدهای دیگر مثل سرکه که در برخی دستورالعمل‌های ساخت مرکب وجود دارند، عمل هیدرولیز را تشدید می‌کنند. اسیدها از طریق شکستن پیوندهای گلیکوزیدی سبب کاهش درجه پلیمریزاسیون سلولز می‌شوند که این امر با گذشت زمان، شکننده شدن کاغذ را به همراه دارد. هم‌چنین با شکستن ساختار مرکب و تشکیل محصولات فنولیکی مخرب مثل اسید الاژیک و پورپوروگالین (شکل ۳)، سبب قهوه‌ای شدن رنگ مرکب می‌شود. البته مکانیسم‌هایی که کمپلکس مرکب سیاه را به قهوه‌ای تبدیل می‌کنند، هنوز به درستی شناخته نشده‌اند و هیدرولیز اسیدی کمپلکس مرکب به عنوان یک احتمال پیشنهاد شده است (Marieflamay, 2013).



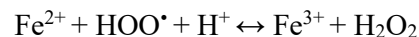
شکل ۳: ساختار شیمیایی محصولات مخرب ناشی از هیدرولیز مرکب آهن-مازو، پورپوروگالین (سمت راست)، اسیدالاژیک (سمت چپ) (Maitland, 2009).

۴-۲- اکسایش

علاوه بر اسیدها، مرکب آهن-مازو حاوی مقدار قابل توجهی یون آهن نیز می‌باشد. یون‌های Fe^{2+} ، با پراکسیدهایی که در طول اکسایش مواد آلی تولید شده‌اند، واکنش می‌دهند و در نتیجه رادیکال‌های هیدروکسیل به شدت فعال منتشر می‌شوند. احیای یون‌های Fe^{3+} ، توسط بسیاری از ترکیب‌های آلی، یون‌های سوپراکسید و حتی پراکسیدها سبب می‌شود تا این واکنش‌ها در یک دوره چرخشی تکرار شوند که نتیجه آن ایجاد آسیب‌های گسترده ناشی از اکسی رادیکال‌ها است (Kolar et al., 2006). تاثیر محتوای سولفات آهن (II) مرکب، از عملکرد مخرب اسیدها نیز بیشتر و قوی‌تر است. مکانیسم تجزیه اکسایشی سلولز شامل سه مرحله است و به وسیله رادیکال‌های آزادی که پس از تشکیل کمپلکس‌های ناپایدار یون‌های فلزی با اکسیژن مولکولی تولید شده‌اند، صورت می‌گیرد (José- Yacamán, 2006). در مرحله اول، یون‌های Fe^{2+} باقی مانده بعد از اکسایش ناقص سولفات آهن (II)، به عنوان کاتالیست برای اکسایش ترکیب‌های آلی موجود عمل می‌کنند. این اکسایش شامل تشکیل رادیکال‌ها ($O_2^{\bullet}$, $HOO^{\bullet}$) است (Proost et al., 2004).



در مرحله دوم، واکنش یون Fe^{2+} با $HOO^{\bullet}$ در محیط اسیدی، منجر به پیدایش پراکسید هیدروژن (H_2O_2) می‌شود که این ماده سبب اکسایش بیشتر کاغذ و یون‌های Fe^{2+} موجود در مرکب می‌شود (ibid).



و در مرحله سوم، رادیکال‌های هیدروکسیل تولید می‌شوند.



رادیکال هیدروکسیل بسیار فعال است و یک واکنش زنجیری از تشکیل رادیکال‌ها را به همراه دارد که به تدریج، تجزیه و متلاشی شدن اسناد کاغذی را موجب می‌شود. در مرحله اکسایش، تکیه‌گاه مراحل گوناگونی از آسیب را پشت سر می‌گذارد که عبارتند از: بی‌رنگی (رنگ رفتگی)، اتصال‌های عرضی که موجب کاهش انعطاف پذیری کاغذ و در نتیجه افزایش شکنندگی آن می‌شوند، تشکیل

ترک در خطوط مرکب و در نهایت از دست دادن کاغذ زیرلایه مرکب (Mariefflemay, 2013). برخلاف هیدرولیز اسیدی که به علت حرکت اسید سولفوریک در سرتاسر کاغذ ایجاد می‌شود، آسیب‌های حاصل از اکسایش محدود به نواحی جوهری (آغشته به جوهر) است.

۵- درمان خوردگی مرکب آهن-مازو

خوردگی مرکب آهن-مازو، ناشی از دو فرآیند اکسیداسیون و هیدرولیز اسیدی است. به همین دلیل یک درمان پایدار برای مرکب آهن-مازو، نیاز به استفاده از یک قلیا جهت مبارزه با هیدرولیز اسیدی کاغذ و همچنین، آنتی اکسیدان‌ها جهت دخالت در اکسایش دارد. آنتی اکسیدان‌های مورد استفاده در پایدارسازی مرکب آهن-مازو، براساس نحوه عملکرد در دو دسته طبقه بندی می‌شوند: یک گروه، آنتی اکسیدان‌هایی هستند که واکنش‌های زنجیره‌ای رادیکال‌ها را قطع می‌کنند و دسته دوم، آنتی اکسیدان‌هایی هستند که تشکیل رادیکال‌های آزاد را به خصوص از هیدرو پراکسیدها به تأخیر می‌اندازند از جمله فیتات‌ها که پرمصرف ترین آنتی اکسیدان‌ها جهت پایدارسازی مرکب به شمار می‌روند (Malešie et al., 2005). تثبیت موفقیت‌آمیز خوردگی ناشی از مرکب، علاوه بر مواد اسیدزدا باید شامل آنتی اکسیدان‌های مناسب نیز باشد. زیرا در مرکب‌های آهن-مازو علاوه بر آهن، یون‌های فلزی دیگری مثل مس وجود دارد که بعضی روش‌های پایدارسازی مرکب، تأثیری بر اثر خوردگی ناشی از این یون‌ها ندارند (Kolar and Strlic, 2000). نتایج حاصل از بررسی برخی از آثار تاریخی خلق شده با استفاده از مرکب آهن-مازو، حاکی از این است که محتوای یون‌های متحرک (مس، آهن)، در مرکب‌های آهن-مازوی تاریخی خیلی با یکدیگر متفاوت است. به طوری که نسبت مولی مس به آهن زیاد و برابر با ۰.۷ است. از طرفی به دلیل این که توانایی مس در تسریع کردن واکنش‌های شیمیایی بالاتر از آهن است، در واقع یون مس است نه آهن که باعث به وجود آمدن آسیب‌های بیشتر در اسناد شامل مرکب آهن-مازوی غنی از مس می‌شود. در چنین مواردی استفاده از پراکسید تترابوتیل آمونیوم برومید نقش مهمی در پایدارسازی مؤثر این نوع از اسناد دارد. (Kolar et al., 2003).

همچنین تأثیر هالیدها مثل تترابوتیل آمونیوم برومید و تترابوتیل آمونیوم کلرید، بر روی خوردگی کاغذ ناشی از مرکب آهن-مازو در محیط قلیایی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که نه تنها تترابوتیل آمونیوم برومید یا کلرید تأثیر منفی بر روی روشنی کاغذ در طول پیرسازی تسریعی ندارد بلکه تأثیرگذار بودن اندازه کاتیون بر میزان پایدارسازی هالید را نیز به اثبات رساند (Malešie et al., 2005). در مقایسه با روش متداول و مؤثر فیتات کلسیم، استفاده از فیتات منیزیوم به عنوان یک درمان مناسب دیگر نیز جهت پایدارسازی مرکب آهن-مازو به اثبات رسیده است. همچنین بر این نکته مثبت، تأکید شده که در روش فیتات منیزیوم به علت میزان حلالیت بالا، نیازی به استفاده از محلول آمونیاک که خطر جدی بر سلامت انسان دارد، نیست (Kolar et al., 2007). از

طرفی، پتانسیل اثر تثبیت‌کنندگی نوعی از آنتی اکسیدان‌ها (آلکیلی میدازولیوم برومورها)، جهت پایدارسازی مرکب آهن-مازو مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج نشان داد که نه تنها این آنتی‌اکسیدان هیچ اثر منفی بر روی رنگ کاغذ و رنگ دانه‌های مس ندارد، بلکه اثر تثبیت‌کنندگی آن در مقایسه با دیگر آنتی‌اکسیدان‌های مورد استفاده و فیتات‌ها بهتر است (Kolar et al., 2008).

۶- نتیجه گیری

مرکب آهن-مازو از چهار جزء اصلی مازو، زاج، صمغ عربی و آب تشکیل شده‌است که گاهی اوقات، مواد افزودنی گوناگونی اعم از گیاهی یا معدنی جهت بهبود کیفیت مرکب به آن افزوده می‌شود. در این نوع مرکب به دلیل حضور اسیدگالیک، یون‌های آهن، کمپلکس‌های محلولی که همانند اسیدها رفتار می‌کنند، اسیدسولفوریک (محصول تولید شده در مرحله شکل‌گیری رنگ مرکب) و اسیدهای دیگر مثل سرکه که در برخی دستورالعمل‌های ساخت مرکب وجود دارند، عمل هیدرولیز شدت یافته و از طریق شکستن پیوندهای گلیکوزیدی، کاهش درجه پلیمریزاسیون سلولز و شکننده شدن کاغذ و قهوه‌ای شدن رنگ مرکب را موجب می‌شوند. از طرفی به علت وجود یون‌های آهن، اکسیداسیون سلولز افزایش می‌یابد که به تدریج، تجزیه و متلاشی شدن اسناد کاغذی را به همراه دارد. باتوجه به این که علاوه بر آهن، یون‌های فلزی دیگری مثل مس نیز در مرکب‌های آهن-مازو وجود دارند، تثبیت موفقیت آمیز خوردگی ناشی از مرکب، علاوه بر مواد اسیدزدا جهت مبارزه با هیدرولیز اسیدی کاغذ باید شامل آنتی اکسیدان‌های مناسب نیز باشد تا تشکیل رادیکال‌های آزاد به خصوص از هیدروپراکسیدها را به تأخیر بیندازد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مرمت آثار تاریخی و فرهنگی اعظم رمضانی چرمینه با عنوان «بررسی و ارزیابی کارایی گیاه آفسنتین (*Artemisia absinthium L.*) بر پایدارسازی مرکب آهن-مازو» به راهنمایی دکتر مهرناز آزادی بویاغچی و دکتر بهزاد ذوالفقاری در دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان است. از این رو از اساتید راهنما و مسئولان دانشکده مرمت تشکر و قدردانی می‌گردد.

پی نوشت‌ها

۱. *Cynips gallae tinctoria*.

۲. Tannin.

۳. Vitriol.

۴. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

منابع و مآخذ

- آزادی بویاغچی، مهرناز؛ افشارپور، مریم و حدادی، محمد (۱۳۹۵). مرکب آهن-مازو: بررسی روش ساخت، خوردگی و روش‌های درمان خوردگی. فصلنامه گنجینه اسناد، ۲۶(۲)، ۱۳۴-۱۵۹.
- پورتر، ایو (۱۳۷۹). ترجمه فارسی رساله «عمده الکتاب» ابن بادیس صنهاجی (۳۹۸-۴۵۴ق) (ع.روح بخشان، مترجم). نامه بهارستان، ۱(۲)، ۳۰-۱۹.
- پورتر، ایو (۱۳۸۹). آداب و فنون نقاشی و کتاب‌آرایی (زینب رجبی، مترجم). تهران: موسسه تالیف، ترجمه و نشر آثار هنری متن.
- رحیمی، سمیه و عباسی، سلیمان (۱۳۹۳). تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی و ژل شوندگی صمغ فارسی. فصلنامه علوم و فناوری‌های نوین غذایی، ۱(۴)، ۲۷-۱۳.
- سلطانی آشیانی، زهرا (۱۳۹۱). فن شناسی و آسیب شناسی مرکب مشکی و قهوه‌ای در آثار خوشنویسان معاصر و بررسی تاثیر افزودنی عسل بر ویژگی‌های بصری مرکب. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر اصفهان.
- سلطانی، زهرا؛ فرهمند بروجنی، حمید و عابد اصفهانی، عباس (۱۳۹۵). بررسی تأثیر افزودنی زعفران در جلوگیری از خوردگی کاغذ به وسیله مرکب آهن-مازو. مجله پژوهش‌های زعفران، ۴(۱)، ۸۷-۱۰۲.
- شبوح، ابراهیم (۱۳۸۱). دو منبع قدیمی تازه یاب در باره روش ساخت مرکب (هوش آذر آذرنوش، مترجم). نامه بهارستان، ۳(۵)، ۱۴۱-۱۵۲.
- صالحی، فخرالدین و کاشانی نژاد، مهدی (۱۳۹۲). مدل سازی استخراج صمغ دانه بالنگو (*Lallemantia royleana*). فصلنامه علوم و فناوری‌های نوین غذایی، ۱(۱)، ۲۰-۱۳.
- محمودی، نیازمحمد؛ حسن رعیت طاری، کاوه؛ برهانی، شهین؛ آرامی، مختار و نورمحمدیان، فرحناز (۱۳۸۷). رنگبری پساب رنگی حاوی رنگزای آزروی اسیدی با فرآیند فوتوفنتون: عوامل عملیاتی و بررسی مقایسه‌ای. نشریه علوم و فناوری رنگ، ۲(۱): ۴۰-۳۱.
- مسعودی نژاد، محمدرضا و رضازاده‌آذری، منصور (۱۳۸۲). مقایسه چهار روش مختلف استخراج تانن از میوه گونه‌های مختلف بلوط ایران. مجله پژوهشی حکیم، ۶(۱)، ۹۱-۸۱.
- Baynes-Cope, A. D. (1998). *Caring for books and documents*. New Amsterdam Books.

- Brewer, T. (2006). *The Nature of Forgeries: Iron Gall Ink and Paper Aging in Relation to Forged Historical Documents-An Independent Study*.
- Eusman, E. (1998). *Iron gall ink-Ingredients*. **Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed**.
- Fruen, L. (2002). *Iron gall ink*.
<http://www.realscience.breckschool.org/upper/fruen/files/Enrichmentarticles/files/IronGallInk/IronGallInk.html>, Accessed 22/11/2013.
- José-Yacamán, M., Martín-Gil, J., Ramos-Sánchez, M.C., Martín-Gil, F.J. (2006). *Chemical composition of a fountain pen ink*. **Journal of chemical education** 83(10), 1476-1478.
- Karnes, C. (1998). *How to make ink – ingredients*.
http://irongallink.org/igi_indexd7ce.html, Accessed 22/11/2013.
- Karpenko, V., & Norris, J. A. (2002). *Vitriol in the history of chemistry*. **Chemické listy**, 96(12), 997-1005.
- Khanbabaee, K., & van Ree, T. (2001). *Tannins: classification and definition*. **Natural product reports**, 18(6), 641-649.
- Kolar, J., Možir, A., Balažic, A., Strlič, M., Ceres, G., Conte, V., ... & de Bruin, G. (2008). *New antioxidants for treatment of transition metal containing inks and pigments*. **Restaurator**, 29(3), 184-198.
- Kolar, J., Možir, A., Strlič, M., de Bruin, G., Pihlar, B., & Steemers, T. (2007). *Stabilisation of iron gal link: aqueous treatment with magnesium phytate*. **e-Preservation Science**, 4, 19-24.
- Kolar, J., Štolfa, A., Strlič, M., Pompe, M., Pihlar, B., Budnar, M., ... & Reissland, B. (2006). *Historical iron gall ink containing documents—properties affecting their condition*. **Analytica chimica acta**, 555(1), 167-174.
- Kolar, J., Strlic, M., Budnar, M., Malesic, J., Selih, V. S., & Simcic, J. (2003). *Stabilisation of corrosive iron gall inks*. **Acta Chimica Slovenica**, 50(4), 763-770.
- Kolar, J., and Strlic, M. (2000, September). *Stabilisation of ink corrosion*. In **IRON GALL INK MEETING** (pp. 10-15).
- Łojewska, J., Miśkowiec, P., Łojewski, T., & Proniewicz, L. M. (2005). *Cellulose oxidative and hydrolytic degradation: In situ FTIR approach*. **Polymer degradation and stability**, 88(3), 512-520.
- Maitland, C. (2009). *Where archival and fine art conservation meet: Applying iron gall ink antioxidants and deacidification treatments to corrosive copper watercolors*. **The Book and Paper Group Annual**, 28, 37-45.
- Malešič, J., Kolar, J., Strlič, M., & Polanc, S. (2005). *The use of halides for stabilisation of iron gall ink containing paper—The pronounced effect of cation*. **e-Preservation Science**, 2, 13-18.

-Mariefleamay(2013). *Iron Gall Ink*.

<http://travelingscriptorium.library.yale.edu/2013/03/21/iron-gall-ink>, Accessed 21/03/2013.

- Martuscelli, E. *THE CHEMISTRY OF PAPER CONSERVATION*.

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:2PAJXkzXIIIJ:www.eziomartuscelli.net/files/I_%2520PAPER_COMPONENTS-STRUCTURE-PROPERTIES.pdf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ir&client=firefox-a, Accessed 21/03/2013.

- Proost, K., Janssens, K., Wagner, B., Bulska, E., & Schreiner, M. (2004).

Determination of localized Fe²⁺/Fe³⁺ ratios in inks of historic documents by means of μ -XANES. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 213, 723-728.

- Rouchon, V., Duranton, M., Burgaud, C., Pellizzi, E., Lavédrine, B., Janssens, K., & Hellemans, K. (2011). *Room-temperature study of iron gall ink impregnated paper degradation under various oxygen and humidity conditions: time-dependent monitoring by viscosity and X-ray absorption near-edge spectrometry measurements. Analytical chemistry*, 83(7), 2589-2597.



بازسازی سفال‌های تاریخی با میزان زیاد قطعات مفقود

نوشین بنس لو^{۱*}؛ مهدی رازانی^۲؛ علی میرزایی^۱

۱. کارشناس مرمت آثار تاریخی و فرهنگی دانشگاه هنر اسلامی تبریز

۲. استادیار، عضو هیئت علمی گروه مرمت آثار تاریخی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز. ایران

(مکاتبات: nouben18@gmail.com)

چکیده

اشیا سفالی ازجمله مهم‌ترین شواهد به‌دست‌آمده از عصر نوسنگی تا به امروز هستند که به‌واسطه تخریب‌های مکانیکی و فیزیکی دچار آسیب شده و عمدتاً نیازمند بازسازی برای اهداف حفاظت و مرمت در موزه‌ها هستند. بازسازی سفال‌های تاریخی با حجم زیاد قطعات مفقود از جمله چالش‌های مورد بحث در بین مرمتگران امروزی بوده است. لذا از حیث شواهد تاریخی، فناوری و زیباشناسی در تاریخ هنر حائز اهمیت است و مرمت و بازسازی این اشیا به بهترین شکل بر اساس قوانین حفاظت و مرمت و خلاقیت در حفظ اصالت برای مرمتگران بسیار حائز اهمیت هست. محتوای این مقاله تشریح فرآیند بازسازی یک شی تاریخی سفالین متعلق به دوره عصر نوسنگی محوطه سد سیلوه در پیرانشهر از طریق روش ابداعی قالب‌گیری است در همین راستا پس از شناخت مقدماتی اثر، به تشریح فرآیند بازسازی قطعات مفقود سفال با ذکر دقیق جزئیات آن پرداخته شده است.

کلیدواژگان: سفال‌های تاریخی، حفاظت، مرمت، بازسازی، قطعات مفقود

Reconstruction of Historical Ceramic Objects with Numerous Missing Parts

Noushin Beneslou*¹; Mehdi Razani²; Ali meirzai ¹

1. B.A. conservation and restoration of cultural property, Faculty of Applied Arts. Tabriz Islamic Art University

2. Phd. conservation and restoration of cultural property, Faculty of Applied Arts. Tabriz Islamic Art University
(corresponding author: nouben18@gmail.com)

Abstract

The ceramic objects are one of the most important evidence of Neolithic era. Due to the physical and mechanical damages they need proper conservative strategies. Reconstructing of historical ceramic objects with large amounts of missing parts has been a challenge for conservator. The importance of this matter is owing to the historical, technological, and aesthetic values of objects. So, the conservation and reconstruction of them must be in line with the conservation protocols to conserve their integrity. In this paper we describe reconstructing process of a historical ceramic object belonging to Neolithic period recovered from Selve Tepe in Pearanshahr City in the north west of Iran. in this process we are trying a new method for casting on a sample with numerous number of missing parts. After preliminary studies of the sample the reconstruction of it is described.

Keywords: Historical, ceramic, Conservation, Restoration, Reconstruction, Missing Parts

۱- مقدمه

از میان تمامی مصنوعات اعم از اشیا و لوازم کاربردی و هنری هیچکدام به اندازه سفالگری نتوانسته منعکس کننده اندیشه ها و خلاقیت های ذهنی انسان به طور مستمر و بلاانقطاع در طول تاریخ باشد. حفاظت و بازسازی آثار سفالین جهت صیانت از میراث فرهنگی با در نظر گرفتن مسائل زیبایی شناسی و ارزش های فرهنگی و موزه ای از اهمیت ویژه ای برخوردار است. هنگامی که بخش مفقود اشیا میراث فرهنگی و به خصوص سفالینه های تاریخی و موزه ای نقش سازه ای در ساختمان شی داشته و باعث عدم پایداری و ایستایی شی می گردند، ضرورت دارد مرمتگران بخش های مفقودی که از لحاظ جنبه های زیباشناختی و سازه ای در ارتقاء ارزش های مادی و بصری اثر تأثیرگذار هستند را با استفاده از روش های کم خطر و غیر تخریبی بازسازی کنند (رازانی و دیگران، ۱۳۹۵). چنانکه صنعتگر و هنرمند برای خلق اثر هنری نیاز به خلاقیت دارد، مرمتگر نیز برای بازنمایی حالت شناخته شده قبلی اثر تاریخی باید خلاق باشد، ایده پردازی کند و روش های گوناگونی را برای مشابه سازی و بهسازی اثر به کار گیرد.

عموماً عقیده بر این است که اگر بخش بازسازی سفال تاریخی بیش از بخش اصلی آن باشد در چنین مواردی بازسازی شیء آن را از سندیت تاریخی خارج می کند و بازسازی را به مجسمه سازی مرمتگر تبدیل می کند. از این رو مرمتگر بایستی در جریان هرگونه عملیات حفاظتی و مرمتی، مبانی نظری مرمت را رعایت کرده و از ابراز هرگونه سلیقه شخصی خودداری کند (حدادی ۱۳۸۷). هدف مرمتگر باززنده سازی ماهیت اثر برای عموم مردم است تا به جای مشاهده یک سری قطعات شکسته و مفقود شده بی روح، یک اثر بازسازی شده به مانند آنچه که در گذشته می توانسته باشد را بسازد و هم اینکه اثر حامل پیشینه تاریخی - فرهنگی با گذر زمان به فراموشی سپرده نشود و همچنین باید توجه کرد که رعایت اصل حداقل مداخله موثر برای حفظ اصالت اثر موقع کار بازسازی ضروری است (برندی ۱۳۸۷). شایان ذکر است امروزه با به کار گیری روش های مبتنی بر نمونه سازی سریع اقداماتی در راستای حفاظت و مرمت سفال با استفاده از پرینتر سه بعدی صورت گرفته است که نتایج آن میتواند در باز سازی سفالهای با بخش های زیاد مفقود بسیار کار آمد باشد (رازانی و دیگران، ۱۳۹۵). در روش های سنتی، رایج ترین شیوه برای پر کردن بخش های مفقودی استفاده از موم دندانپزشکی برای دیواره سازی و قالب گیری و پر کردن فضاهای خالی با خمیر گچ است اما آنچه در ذیل شرح داده می شود روش قالب باند گچی با یک شیوه ابتکاری است چراکه حجم قطعات مفقود زیاد بوده و امکان استفاده از موم دندانپزشکی برای چنین حجمی، چندان کارساز نیست لذا با به به کارگیری روش جدید ارائه شده می توان به شکل اصیل سفال تاریخی نزدیک تر شد

۲- معرفی نمونه مورد مطالعه و مرمت

اثر مورد مطالعه، نمونه ای از تکه های سفال متعلق به تپه باستانی سیلوه پیرانشهر است که طی سال ۱۳۹۶ به دست آمده و به نظر می رسد از ظروف آشپزخانه متعلق به دوره عصر آهن باشد که حاوی هشت تکه شکسته آجری رنگ بوده و سایر قسمت های سفال تاریخی مفقود است. سفالی چرخ ساز، با دودسته افقی، سست و متخلخل که با لعابی از دوغاب گل پوشیده شده است (تصویر ۱). در قسمت های مغزه

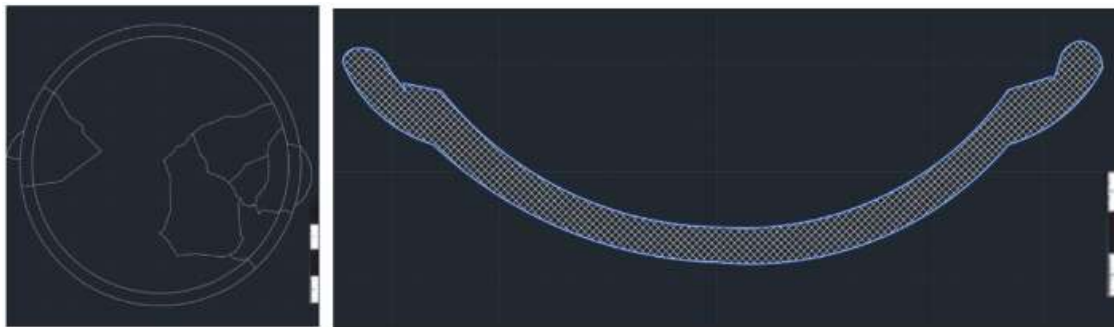
ظرف سفالی قسمت های سیاهی وجود دارد که اصطلاحاً به آن مغز سیاه (Black Core) گفته می شود که نشان دهنده پخت ناقص مواد آلی سفال در شرایط پخت احیا است. با توجه به مطالعه بر روی داده های فرهنگی به ویژه داده های سفالی به دست آمده از بررسی و کاوش های باستان شناسی منطقه مشخص گردید که آثار شناسایی شده از محوطه سد سیلوه متعلق به ادوار مختلف فرهنگی-تاریخی (نوسنگی، مس سنگی، مفرغ، آهن، دوران تاریخی و اسلامی) هستند که سفال مورد نظر مربوط به عصر آهن و در میان لایه های تاریخی این محوطه است (عابدی، مصاحبه شخصی: ۱۳۹۶/۷/۱۲).



تصویر ۱- قطعات سفال تاریخی قبل از مرمت

۳- شرح عملیات

از جمله مهم ترین بخش های مستندنگاری ترسیم شی تاریخی به شیوه دستی یا با کمک استفاده از نرم افزارهای رایانه ای است. در همین راستا برای ترسیم شی مورد نظر در ابتدا از روش ترسیم دستی روی صفحه کاغذ، استفاده شد و در ادامه با استفاده از نرم افزار اتوکد (نسخه ۲۰۱۴) اقدام به ترسیم شی مورد نظر گردید (تصویر ۲).



تصویر ۲: ترسیم سفال از نمای افقی و نمای بالا به کمک نرم افزار کد (مقیاس ۲ cm)

پس از مستندنگاری و تکمیل کردن اطلاعات اولیه و قطعه یابی، قطعات سفال تمیزکاری (پاکسازی مکانیکی و شیمیایی) شدند و در ادامه اقدام به تثبیت (تصویر ۳) و وصال (تصویر ۴) شد.



تصویر ۳- تکه ها شکسته
سفال با پارالوئید ۳ یا ۵٪
تثبیت شدند.

تصویر ۴- در وصالی تکه ها با پارالوئید ۳۰٪ به هم وصل شدند.

۴- گزارش شیوه ابتکاری بازسازی سفال

۴-۱- قالب سازی و دیواره سازی

بخش های مفقود سفال، دید بصری زیبایی را به بیننده اثر نمی دهد و لذا با استفاده از مصالحی که تا حد ممکن به عناصر سازنده سفال شباهت دارد، به بازسازی سفال پرداخته شد. پر کردن این بخش های مفقود به وسیله گچ رایج ترین روش به کار گرفته شده در مرمت است. استفاده از مخلوط آب و گچ به همراه پرکننده هایی مثل پودر سفال، گچ کلسینه، مل، پودر سنگ و آجر روش مناسبی است که در این مرحله مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از خمیر گچ با پودرهای رنگدانه بدون هیچ گونه پرکننده ای و گاه به همراه پرکننده نیز امکان پذیر است؛ اما آنچه این سفال را از بقیه متمایز ساخت قطعات مفقودی بیش از حد آن و همچنین فرم آن بود که کار قالب سازی را با مشکل روبه رو می کرد و دیگر روش دیواره سازی و قالب گیری با موم دندانپزشکی برای حصول نتیجه ای مطلوب از دقت کافی برخوردار نبود؛ بنابراین قسمت مفقود به وسیله گل رس مدل سازی شد و سپس با باند گچی قالب گیری و بعد با دوغ آب گچ و رنگدانه بازسازی شده. برای این کار ابتدا به کمک صفحه دوایر متحدالمرکز باستان شناسی شکل و اندازه کلی سفال کشیده شد.

ابتدا لبه مورد نظر روی صفحه طوری قرار داده شد که کلیه نقاط لبه آن بر صفحه منطبق گردد. برای ترسیم از کوچک ترین دایره شروع و به طرف دوایر بزرگتر به حرکت درآورده تا روی یکی از دایره ها منطبق شد.

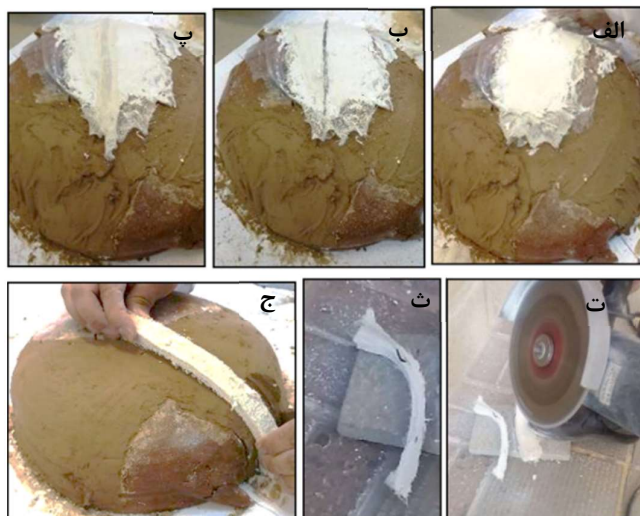
بدین ترتیب قطر دهانه ظرفی که این قطعه متعلق به آن بود به دست آمد. سپس مقداری یونولیت (تصویر ۵) خرد شده و کلیات بخش کمبود اثر به وسیله آن پر شد و فرم کلی شی از لحاظ حجمی درآمد و برای اینکه این یونولیت ها جابه جا نشوند مقداری دوغاب گچ (آب و پودر گچ) روی یونولیت ها ریخته شد تا خشک شود و بتواند وزن دو بخش از تکه سفال تاریخی و گلی که قرار بود به روی آن آورده شود تحمل کند. بعد از قرار دادن تکه سفال ها و مستحکم کردن آنها روی یونولیت ها، تمامی قسمت های مفقودی با گل پوشانده

شد (تصویر ۶).



تصویر ۵ (راست) - تکه سفال ها روی یونولیت ها تثبیت می شود.

تصویر ۶ (چپ) - قسمت های مفقود با گل پوشانده شد.



تصویر ۷ - مراحل ساخت ابزاری به شکل کمانه برای فرم دهی به اثر: (الف) بسترسازی برای ساخت کمانه ای که بتوان کلیه قالب را با آن شکل داد برای بالا بردن کیفیت و کاهش زمان مدل سازی؛ (ب) افزودن لایه های آغشته به دوغاب گچ به همراه پارچه تنظیف و مفتول فلزی در وسط آن برای افزایش استحکام؛ (پ) ادامه روند تنظیف گذاری به همراه ملات گچ به ضخامت ۱-۲cm؛ (ت) برش کمانه به کمک فرز پس از خشک شدن ملات گچی؛ (ث) کمانه برش داده شد؛ (ج) کمانه گچی شبیه پرگار به حالت دایره ای روی بخش گلی حرکت داده شد تا شکل سفال اصلی را به خود بگیرد.

بعد از مدل سازی قسمت مفقود با گل رس برای ساختن قالب، روش باند گچی و همچنین شیوه قالب گیری دوتکه ای بنابر شکل ظرف استفاده شد تا سفال پس از آن بدون آسیب، از قالب جدا شود. برای قطع تماس بدنه مدل سازی شده و بدنه اصلی اثر تاریخی و به منظور جلوگیری از چسبندگی گچ به آنها، سطح اثر به طور کامل با پلاستیک پوشانده شد.



تصویر ۸- ساخت قالب دوتکه‌ای با باند گچی: (الف) ابتدا یک دیواره مومی برای تقسیم سفال به دو بخش ساخته شد؛ (ب) تکه تنظیف‌ها به دوغاب گچی ۵۰٪ آغشته شده و لایه‌لایه یک سمت سفال با آن پوشانده شد (ضخامت ۲ cm)؛ (پ) برداشتن دیواره مومی و روغن کاری سطح اتصال دو دیواره پس از خشک شدن یک سمت قالب؛ (ت) تکرار فرایند قالب‌سازی برای بخش دیگر بعد از اتمام کار و خشک شدن باندهای گچی، این دوتکه مثل دو قاچ از سفال و بدنه اصلی جداسازی شدند (تصویر ۹). بعد از جداسازی قطعات سفال از قالب باند گچی، این دو تکه قالب از قسمتی که قبلاً دیواره حائل مومی گذاشته شده به کمک خمیر گچ به هم وصل شدند و داخل آنها تمیزکاری شد (تصویر ۱۰).



تصویر ۱۰- جداسازی قالب دوتکه‌ای

تصویر ۹- اتصال دوتکه قالب به هم به کمک خمیر گچ

تکه‌های سفال تاریخی اصلی درون قالب قرار داده شدند و بعد از اطمینان از محل درست جایگذاری، برای تثبیت تکه‌ها در محل مورد نظر پین زده شد (تصویر ۱۱). برای پین‌سازی چندین سوراخ (به‌وسیله دریل برقی) ایجاد شد. بعد از اطمینان از تثبیت محل تکه سفال‌ها، تمام سطح گچی روغن کاری شد تا موقع ریختن دوغاب گچ، این دو سطح گچی به هم نچسبد و بتوان به راحتی آنها را از هم جدا کرد.



تصویر ۱۱- قرار دادن مفتول های فلزی مابین دوتکه بافاصله حدود ۵/۰ سانتیمتر بالاتر از سطح قالب

نکته حائز اهمیت، نحوه ترکیب گچ با آب بوده که گچ به آب اضافه شد تا حالت گلوله ای نشود و موقع هم زدن، زیاد هم زده نشود در غیر این صورت گچ کشته می شود و به گچ غیر تیز که دیرگیرتر هست تبدیل می شود چراکه با این کار شکل بلوره ای گچ از حالت چفت شدن به هم با لبه های تیز خارج می شود. چون جنس سفال تاریخی بسیار پوک است و حالت تردی و شکنندگی زیادی دارد که نشان از پخت ناکافی آن داشت، خمیری ساخته شد که غلظت گچش زیاد نبوده و از خود سفال سفت تر نباشد و راحت فرم بپذیرد.

در ادامه خمیر گچی ساخته شده را در نواحی مفقود ریخته و بلافاصله به آن شکل داده شد و بعد از خشک شدن با بیستوری تراشیده شد. بعد از خشک شدن کامل سمباده کاری و صیقل کاری صورت گرفت و از قالب درآورده شد (تصاویر ۱۲ و ۱۳) و سطح خارجی سفال کامل صاف کاری شد. پس از خارج ساختن سفال از قالب با بیستوری و سمباده دیواره گچی سخت شده، صاف و یکدست می شود (تصاویر ۱۴ و ۱۵). نکته حائز اهمیت، وزن بخش بازسازی شده با گچ بود که اصولاً به سبب احتمال آسیب به شی در بلند مدت، نباید سنگین تر از خود شی باشد، ولی چون در اینجا بخش مفقود زیاد بود و این بخش نقش تحمل کننده بار را داشت وزن زیاد آن قابل توجیه بود. در ادامه بخش های گچی با پرمال ۳-۵٪ در استون پوشانده شد تا موقع موزون سازی، رنگ را به خود جذب نکرده و تغییر رنگ ایجاد نشود.



تصویر ۱۲ (راست)- تراش کاری خمیر گچی سفت شده تصویر ۱۳ (چپ)- خارج ساختن سفال از قالب دوتکه ای پس از خشک شدن کامل خمیر گچی به منظور شکل دهی و صیقل کاری



تصویر ۱۴- بدنه خارجی سفال قبل از سمباده کاری تصویر ۱۵- بدنه خارجی سفال پس از سمباده کاری و صیقل کاری

۲-۴- موزون سازی رنگی

بهترین گزینه برای موزون سازی استفاده از رنگ های آکرلیکی بود که با آب هم پاک می شد و پایداری بیشتری نسبت به بقیه رنگ ها داشت. رنگ های آکرلیک را رقیق کرده و پس از ساختن بهترین تنالیته رنگی مشابه با اثر تاریخی با قلم مو لایه لایه به بخش مدنظر زده شد. برای اینکه بتوان بخش های رنگ شده را تا حد امکان به سفال اصلی مشابه سازی کرد بهتر است پس از رنگ کردن با همین رنگ ها یا با استفاده از دوده سطح سفال چرکین شود تا به مانند بخش های اصلی تاریخی به نظر آید و آثار گذر زمان را بیشتر تجلی دهد (تصویر ۱۶). در نهایت سفال به منظور پایداری و استحکام بیشتر و جلوگیری از نفوذ و تأثیر آلاینده های محیطی تثبیت شد. با تثبیت سازی فیلمی بسیار نازک روی سطح تشکیل شد. برای تثبیت می توان از پارالوئید ۵٪ حلال در استون و یا از پریمال استفاده کرد ولی چون سفال با رنگ های آکرلیکی چرک سازی شده بود، استون موجود در پارالوئید می توانست آنها را پاک کند، بنابراین استفاده از پریمال اولویت داشت (تصویر ۱۷).



تصویر ۱۶- سفال موزون سازی شده با رنگ های آکرلیک تصویر ۱۷- سفال نهایی چرک سازی شده و تثبیت شده

۵- نتیجه گیری

در یک دید کلی با بازسازی یک شی تاریخی با حجم زیاد قطعات مفقود با قالب دوتکه ای گچی توانستیم روشی ابتکاری و اصولی تر را در مرمت برای باز نمود یک اثر تاریخی اعمال کنیم تا آنرا بیشتر و بهتر به مانند آنچه در گذشته بوده مبدل سازیم و با این کار خلاقیت یک مرمتگر در شبیه سازی اثر نشان داده می شود که نه تنها در روند مرمتی خلل و کاستی صورت نگرفته بلکه با شیوه های جدید به

کار گرفته شده مثل رسم با نرم افزار اتوکد و ساخت قالب به سبکی نو می توانیم در نوآوری و پیش بردن مرمت با علوم جدید پیش ببریم تا نتایج و دستاورد بهتری حاصل شود.

سیاسگزاری

نویسندگان لازم می دانند از دانشکده هنرهای کاربردی دانشگاه هنر اسلامی تبریز و مسئولین کارگاه ها جناب آقای حسن زاد و آقای شکوری برای کمک در فراهم نمودن وسایل کارگاه، از دکتر عابدی برای مصاحبه از محل کاوش و دادن اطلاعات لازم جهت اعمال مداخله، از دکتر کاظم پورجهت راهنمایی برای نحوه ترسیم سفال به روش باستان شناسی و از آقای ابراهیمی جهت دادن اطلاعات باستان شناسی از محل کاوش سفال که از کمک به ما دریغ نفرمودند، تشکر می کنیم.

منابع

- برندی، چزاره. (۱۳۸۶). تئوری مرمت. ترجمه: پیروز حناچی. تهران.
- بهرام بور، شیما و امیرحسین کریمی. (۱۳۹۵). کاربرد چاپگر سه بعدی در بازسازی اشیاء سه بعدی. مرمت و معماری/ایران، ۶(۱۲): ۱۱۵-۱۲۶.
- توحیدی، فائق. (۱۳۷۹). فن و هنر سفالگری. تهران: سمت
- توحیدی، فائق. (۱۳۸۵). مبانی هنرهای فلزکاری، نگارگری، سفالگری، بافته ها و منسوجات، معماری و خط و کتابت.
- حدادی، محمد. (۱۳۸۷). حفظ و مرمت آثار سفالی. دانش مرمت و میراث فرهنگی، ۴(۲): ۴-۱۸.
- رازانی، مهدی؛ حدادیان، محمدعلی؛ پورعباس، صفر. (۱۳۹۵). استفاده از فناوری های نمونه سازی سریع در بازسازی بخش های مفقود آثار شیشه ای با رویکرد استفاده در شیشه های تاریخی. مرمت و معماری/ایران، ۶(۱۲): ۸۵-۱۰۲.
- رازانی، مهدی، محمد علی حدادیان، صفر پور عباس (۱۳۹۷) استفاده از فناوری های نوین نمونه سازی در بازسازی بخش های مفقود سفالینه های باستان شناسی. پژوهش های باستان شناسی ایران، ش. ۱۸. دوره ۸. ۱۷۳-۱۹۲
- کار، داوسنو؛ لئونارد، مارک. (۱۳۸۴) شیوه نگرش به تابلوهای نقاشی (راهنمای اصطلاحات فنی)، ترجمه: حمید فرهنگ بروجنی. اصفهان: گلدسته.

مروری بر روش‌های بومی حفاظت از نسخ خطی^{۱۹}

نویسندگان: جوشنا شاهو؛ باسودو موهانتی

* برگردان: اعظم رضانی چرمینه

* کارشناس ارشد مرمت آثار و اشیای فرهنگی - تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان

(Email: azamramezani69@gmail.com)

چکیده:

مقاله حاضر، برگردان مقاله‌ای نوشته شاهو (Sahoo)، و موهانتی (Mohanty) (2004)، دو دستیار کتابدار اهل کشور هندوستان است. در این مقاله روش‌های بومی حفاظت از نسخ خطی در ایالت اوریسا واقع در کشور هندوستان به تفصیل بیان شده است. هدف از این مقاله، ارائه شماری از مواد گیاهی بومی و روش‌های سنتی جهت استفاده در فرآیند حفاظت از نسخه‌های خطی است. باتوجه به این که نسخه‌های خطی ارزشمندترین میراث ملی و فرهنگی کشور هندوستان را تشکیل می‌دهند. بنابراین حفظ نسخه‌های خطی یک مسئله جدی برای متولیان، کتابداران، مورخان، متصدیان آرشیوها، موزه‌داران و محققان است. با وجود ظهور مواد شیمیایی مناسب و در دسترس برای حفاظت، در این کشور از روش‌های سنتی استفاده می‌شود.

کلیدواژگان: نسخه‌های خطی، میراث ملی، حفاظت، روش‌های بومی.

^{۱۹} - آدرس متن اصلی منبع ترجمه شده عبارت است از :

Sahoo, J., & Mohanty, B. (2004). Indigenous Methods of Preserving Manuscripts: An Overview. *The Orissa Historical Research Journal*, 47(3), 28-32.

مقدمه:

حفاظت از اسناد، یک وظیفه مهم برای کتابداران، مورخان، متصدیان آرشیوها، موزه‌داران، محققان و مؤسسه‌های گوناگون دیگر است. از زمانی که انسان دانش نوشتن را فرا گرفته، مشکل حفاظت از اسناد کمیاب وجود داشته است. این امر شاید به زمان اقوام بابلی، آشوری، سومری، چینی یا هندی برگردد که کاتبان نسخه‌های خطی همیشه از بابت حفظ نوشته‌هایشان و هر آنچه که برای آیندگان به دست آورده بودند، نگران بودند. حتی محققانی مثل آریستوتل (Aristotle)، اُوید (Ovid) و هوراس (Horace) هم در مورد ایمنی نسخ خطی از آسیب حشرات بیمناک بودند. بنابراین حفاظت از نسخ خطی یک مشکل جدی برای متولیان این امر در سراسر دنیا است. نسخ خطی تهیه شده از برگ درخت نخل، قیمتی‌ترین میراث ملی ما را به عنوان بخش‌هایی کمیاب از دانش نوشتاری تشکیل داده است. این نسخ خطی وسیله‌ای قدرتمند برای حفاظت از میراث ادبی، زبان‌شناسی، هنری و فرهنگی ما است. میراثی که تنها منبع ناشناخته و غیر قابل درک است. از این رو باید هر تلاش ممکن‌ی جهت نجات این گنجینه‌ها برای نسل آینده به کار گرفته شود.

چرا روش‌های بومی؟

در حال حاضر هیچ کمبودی از لحاظ حشره‌کش‌ها و مواد دافع شیمیایی مدرن، برای نگهداری ایمن از نسخ خطی وجود ندارد. هر چند که با ظهور تکنولوژی و به کارگیری آن، نگرانی‌های بیشتری بابت حفاظت از نسخ خطی پدیدار شده است. ولی روش‌های سنتی حفاظت هنوز هم مرسوم هستند، چون این مواد برتری‌های خاص خود را دارند مثل:

- این روش‌ها برای سلامت انسان خطرناک نیستند.

- این روش‌ها هیچ تأثیر سویی بر مواد ندارند.

- این روش‌ها تجربه، تجهیزات و هزینه زیادی لازم ندارند.

در این متن تلاش شده‌است تا مؤثرترین روش‌های سنتی گوناگون به طور خلاصه بیان شوند، حشره‌کش‌ها و مواد گیاهی هندی دفع‌کننده حشرات که توسط سازمان‌های مختلفی استفاده شده‌اند یا می‌توانند توسط سازمان‌ها جهت متوقف کردن هجوم حشرات به مخازن نگهداری نسخ خطی به کار روند.

روش‌های حفاظت سنتی:

دانش حفاظت مسأله تازه‌ای برای هندی‌ها نیست. از زمان باستان روش‌های بومی گوناگونی برای حفاظت از نسخ خطی به کار رفته است. مردم از عوامل اصلی زوال نسخ خطی مثل نور، گرد و خاک، گرما و رطوبت کاملاً آگاه بودند. از این رو به منظور حفظ نسخ خطی از این عوامل آن‌ها را با پارچه می پوشاندند. به برخی روش‌های سنتی که هنوز هم توسط حفاظت‌گران نسخ خطی مورد قبول و استفاده است در ذیل اشاره شده است:

الف- نگهداری صحیح از نسخ خطی به طور یقین قبل از نوشتن روی برگ (درخت نخل) آغاز می‌شود. از طریق دفن کردن برگ زیر لجن یا جوشاندن در آب، به آن فرصت داده می‌شود تا اندازه‌ای اثر ضدعفونی در برابر آسیب‌های ناشی از حشرات پیدا کند.

ب- معمولاً نسخ خطی از طریق ایجاد سوراخ‌هایی بر روی برگ‌ها و عبور دادن طنابی نازک از میان آن‌ها بسته بندی می‌شوند. سپس برگ‌ها را در میان دو تخته چوبی صاف محکم که سوراخ‌هایش منطبق بر سوراخ‌های برگ‌ها است قرار داده و طنابی نازک از آن‌ها عبور می‌دهند. تخته‌های چوبی با وارد کردن فشار از دو طرف، مانع از پیچ خوردن لبه‌ها و پوسته شدن آن‌ها در اثر ساییدگی می‌شود.

ج- با پیچیدن نسخ خطی درون پارچه، از آن‌ها در برابر گرد و خاک، کرم‌ها و تا حد زیادی اثرات تغییرات رطوبت هوا و جذب گازهای اسیدی حفاظت می‌شود.

د- برگ‌های درخت نخل معمولاً در پارچه‌های قرمز یا زرد رنگ پیچیده می‌شوند. چون معتقد بودند رنگ قرمز باعث دور شدن حشرات می‌شود و رنگ زرد نیز- اگر از زردچوبه حاصل شده باشد- به دلیل قدرت میکروب کشی آن سبب دور شدن حشرات از نسخ خطی می‌شود.

ه- نسخ خطی در پارچه‌های ابریشمی نیز پیچیده می‌شوند و از آن جایی که این نسخ تا حد زیادی عاری از کرم‌های کتاب هستند، استفاده از این پارچه‌ها هنوز هم دیده می‌شود.

و- قرار دادن دسته‌هایی از نسخ خطی در جعبه‌های چوبی سخت (و محکم) جهت کاهش اثرات ناشی از تغییرات شدید آب و هوا بر روی نسخ خطی.

ز- برگ‌های نخل را در معرض دود موجود در آشپزخانه قرارداد، چون اجزای دود توانایی دفع حشرات را دارند. اگرچه تهنشست دود، تغییرات نامطلوبی بر روی برگ‌ها ایجاد می‌کند ولیکن این روش برای جلوگیری از حمله حشرات به نسخ خطی تهیه شده از برگ درخت نخل تأثیرگذار است.

ح- قرار دادن برگ‌ها در برابر پرتو لطیف طلوع یا غروب خورشید، اثرات ناشی از رشد حشرات و میکروارگانیسم‌ها را از بین می‌برد.

ط- برگ‌های نخل معمولاً دسته‌بندی شده و به کمک یک سوزن ساخته شده از بامبو و یک نخ پنبه‌ای یا ابریشمی با همدیگر به بند کشیده می‌شوند تا سالم بمانند.

ی- در بعضی مکان‌ها حفره‌های زیرزمینی جهت حفاظت از نسخ خطی فراهم می‌نمودند.

ک- نسخ خطی معمولاً در ماه قمری بهادرا (برابر با ماه شهریور) در معرض نور خورشید قرار داده می‌شوند. چون پرتوهای خورشید در آن ماه خاص خیلی مطلوب و مناسب هستند. با این روش کرم‌ها زیر نور خورشید از بین می‌روند.

ل- یک روش بومی دیگر این است که برگ‌های نخل را در روز ویجایا داشامی^۱ به محیط بیرون و هوای آزاد منتقل کرده و سپس آن‌ها را تمیز کرده و دوباره به جای اول باز می‌گردانند.

فرآورده‌های گیاهی و طبیعی:

به بعضی از گیاهان و فرآورده‌های آن‌ها، که از زمان باستان خواص میکروب‌کشی و پتانسیل دفع حشرات در آن‌ها تشخیص داده شده، در زیر اشاره شده است:

۱- برگ‌های خشک و پودر شده گیاه آشواگاندا در بسته‌های کوچک همراه با نسخ خطی پیچیده شده در پارچه نگهداری می‌شده است تا دور کننده حشرات باشد.

۲- در میان دسته‌های نسخ خطی قطعاتی از اگیر ترکی یا زنجبیل خشک شده قرار داده تا آن‌ها را از حمله حشرات مصون دارند.

۳- به منظور استحکام بخشی صفحه‌های نسخ خطی و متوقف کردن رشد میکروارگانیسم‌ها، آن‌ها را با روغن گیاه پوتار می‌پوشاندند.

- ۴- در بعضی از مخازن نگهداری، مردم از سنگرف یا پودر زعفران (که قرمز رنگ است) استفاده می‌کنند که دور کننده خیلی خوبی برای حشرات است.
- ۵- پودر ریشه خشک شده گیاه اگیر ترکی، معروف به باچا را به دلیل ارزش دارویی خیلی فراوان و قدرت حشره‌کشی در بسته‌های کوچک درون قفسه‌های نگهداری نسخ خطی قرار می‌دهند.
- ۶- عصاره‌های روغنی بعضی فرآورده‌های طبیعی مثل فلفل سیاه، چوب صندل یا میخک به انعطاف پذیری مجدد نسخ خطی تهیه شده از برگ نخل کمک می‌کنند.
- ۷- استفاده از عصاره برگ نخل تازه نیز این امکان را فراهم می‌کند تا برگ‌های قدیمی و شکننده، انعطاف پذیری خود را دوباره بازیابند.
- ۸- گیاه زنیان پودر شده نیز خاصیت قارچ‌کشی و حشره‌کشی دارد.
- ۹- دانه‌های پودر شده میوه نان برای کشتن حشراتی که بر روی نسخ خطی رشد یافته‌اند به کار می‌رود.
- ۱۰- مخلوط برگ‌های درخت زیتون تلخ، راش هندی، گیاه پنج انگشت و سیترونلا که خواص حشره‌کشی آن‌ها شناخته شده‌است نیز می‌توانند در کتابخانه‌های نسخ خطی استفاده شوند.
- ۱۱- برگ‌های خشک شده تنباکو نیز نسخ خطی را در برابر حمله حشرات حفظ می‌کنند. معمولاً برگ‌ها یا به صورت بسته‌بندی شده در کیسه‌های پارچه‌ای کوچک یا بدون بسته‌بندی در قفسه‌های نگهداری نسخ خطی پخش می‌شوند. اسید نیکوتین موجود در برگ‌ها سبب دور شدن حشرات می‌شود.
- ۱۲- برگ‌های گیاه پنج انگشت، در نور خورشید خشک شده و در بین دسته‌های نسخ خطی قرار داده می‌شوند. چون این درختان به وفور در ایالت اوریسّا رشد می‌کنند، استفاده از آن‌ها در این‌جا خیلی معمول است.
- ۱۳- گیاه برنجاسف که به افسنتین هندی معروف است، حاوی یک اسانس شیرین معطر است و اثر دور کنندگی‌اش به ریشه کن کردن حشرات از نسخ خطی کمک می‌کند.
- ۱۴- برگ‌های نعنای نیز مورچه‌ها و سوسک حمام را دور می‌کنند.

۱۵- زیره سیاه که بوی معطر قوی دارد، به عنوان یک دور کننده حشرات به کار برده می‌شود. پراکندن دانه‌های آن در مخازن نگهداری نسخ خطی، سبب دور شدن حشرات می‌شود.

۱۶- خاکه چوب صندل نیز به طور معمول توسط کتاب فروشی‌ها برای دور کردن حشرات به کار می‌رود.

۱۷- روغن زیتون تلخ، حاوی لیمونوئیدها است، دسته‌ای از ترکیبات که به عنوان حشره کش یا تنظیم کننده رشد حشرات عمل می‌کنند؛ به این صورت که سبب مرگ فوری حشره نمی‌شوند، بلکه با جلوگیری از کامل و بالغ شدن حشرات جوان، ناکامی در تولید یک نسل از آن‌ها را به همراه دارند. برگ‌های خشک و دانه‌های زیتون تلخ نیز در دور کردن حشرات مفید است، به همین دلیل از زمان باستان تا کنون به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱۸- از آن جایی که تخته‌های چوبی مورد استفاده برای ساخت جعبه‌های نگهداری نسخ خطی مستعد حمله حشرات هستند، در بعضی کتابخانه‌ها از تخته‌های ساخته شده از چوب درخت زیتون تلخ که خاصیت دفع موریه را دارد، استفاده می‌شود.

۱۹- طبق یک مراسم سالانه، برگ‌های درخت نخل را با عصاره برگ درخت نارگیل، زغال چوب و خمیر زردچوبه آغشته کرده و بعد به کمک یک تکه پارچه تمیز به وسیله مالش آن را پاک کرده تا برگ‌ها در برابر حمله حشرات و قارچ‌ها محافظت شوند.

۲۰- یکی دیگر از فرآورده‌های طبیعی، کافور است که به طور معمول در هندوستان به منظور حفاظت از نسخ خطی در دسترس به کار می‌رود. آن را در کیسه‌های پارچه‌ای کوچک ریخته و درون مخازن نگهداری نسخ خطی قرار می‌دهند. علاوه بر این، از روغن کافور ساختگی نیز برای حفاظت نسخ خطی ساخته شده از برگ نخل در برابر حمله حشرات استفاده می‌شود.

۲۱- کیسه‌های کوچک حاوی یک نوع علف به نام پانادی (که در جایسالمر^۳ رشد می‌کند و در ساخت عطر به کار می‌رود) در میان دسته‌های نسخ خطی قرار داده می‌شوند تا آن‌ها را از موریه حفظ کنند.

۲۲- به کارگیری خمیر زردچوبه بر روی برگ‌های نخل رسیده به دلیل اثر ضدعفونی کنندگی آن مرسوم است.

نتیجه گیری:

کاغذ به دلیل ساختار آلی خود به شدت در معرض آسیب‌های مختلف، از جمله عوامل بیولوژیک مثل میکروارگانیسم‌ها، حشرات و جوندگان است که غفلت از آن‌ها تخریب و نابودی سریع آثار را به دنبال خواهد داشت. به همین دلیل حفاظت از آثار کاغذی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حال حاضر یکی از شیوه‌های مقابله با این عوامل، استفاده از مواد آفت‌کش است که علیرغم داشتن خطرات جدی برای سلامت انسان، آثار کاغذی و محیط زیست، استفاده از این مواد به دلیل دسترسی آسان به روشی متداول جهت متوقف کردن فعالیت عوامل بیولوژیک تبدیل شده است. بنابراین یافتن ماده‌ای مؤثر با حداقل میزان خطر، ضروری است. در متون کهن و در میان روش‌های سنتی، به کاربرد گیاهان به عنوان اقدامات حفاظتی پیشگیرانه اشاره شده است که دارای قدرت کنترل رشد عوامل بیولوژیکی بوده و در عین حال ارزان، در دسترس و کم خطر هستند. ضروری است تا قابلیت به کارگیری آن‌ها در حوزه حفاظت از آثار کاغذی به روش علمی به اثبات رسد.

پی‌نوشت‌ها

۱. جشنواره دسارا در اواخر سپتامبر تا اوایل اکتبر (برابر با ماه مهر) به مدت ده روز در سراسر هند برگزار می‌شود. روز آخر این جشنواره، ویجایا داشامی نام دارد، این روز به عنوان روز پیروزی خوبی بر بدی شناخته می‌شود.

۲. اوریسایالتی در شرق کشور هندوستان در کنار خلیج بنگال است.

۳. شهر جایسالمر هند یا همان شهر طلایی در نزدیکی مرز پاکستان و در صحرای تمار واقع شده است.

منابع:

- Gupta, C. B., & Haider, S. H. (1995). Conservation Practices in Ancient India. *Conservation of Cultural Property in India*, 28, 36-43.
- Dutta, P. K. (1985). Use of Neem oil in conservation. *Conservation of Cultural Property in India*, 18, 20.
- Prasad, L. K. (1981). Role of neem leaves in protecting textile material and paper documents. *Conservation of cultural property in India*, (14-15), 95-97.
- Bhattacharyya, B. (1947). Palm-leaf manuscripts and their preservation. *Indian archives*, 1(3), 233-234.
- Suri, J. H. (1947). Palm-leaf manuscripts in Jaisai, Mir. *Indian archives*, 1(3), 235.
- Sharma, B. R. N. (1992). Pest and pesticides in archaeology & archives. *Conservation of cultural property in India*, 25, 52-55.
- Nair, M. V. (1985). A new method for relaxing brittle palm-leaves. *Conservation of cultural property in India*, 18, 1-4.
- Padhi, B. K. (1974). Preservation of palm leaf manuscripts in Orissa. *Conservation of cultural property in India*, 7, 62-65.
- HARINARAY, N. H. (1995). N. "Techniques of Conservation of Palm-leaf Manuscripts: Ancient and Modern". *Palm-leaf and other Manuscripts in Indian Languages*, 261-285.
- Sahoo, J., & Mohanty, B. (2003). Giving Life to Palm Leaf Manuscripts: Technological Aspects. *The Orissa Historical Research Journal*, 36(2), 108-112.



پیری و زوال کاغذ: یافته‌ها و روش‌های پژوهشی اخیر^{۲۰}

ماریا کریستینا اریا؛ هرو کرادام

مصطفی خواجه‌محمودی*؛ محسن محمدی آچالویی (مترجمان)

(M.kh.mahmoudi@gmail.com*)

چکیده

پیری کاغذ و حفاظت، دغدغه‌ای برای مسئولین در آرشیوها و مجموعه‌های کتابخانه‌ای است. الیاف مشتق شده از چوب، به‌طور عمده از سلولز، همی‌سلولز و لیگنین تشکیل شده‌اند، اما ترکیب کاغذ می‌تواند شامل مواد افزودنی مانند آهار، مواد معدنی، و پلیمرهای سنتزی نیز باشد. بنابراین کاغذ یک ماده چند جزئی است و به‌خاطر پیچیدگی و طبیعت متنوعش، تفسیر یافته‌های پژوهشی در شیمی کاغذ می‌تواند سخت باشد. مواردی چون هیدرولیز اسیدی، عوامل اکسیدکننده، نور، آلودگی هوا، یا حضور میکروارگانیسم‌ها عوامل مؤثر در تخریب کاغذ است. منشأ مواد سلولزی، همچنین خمیرسازی و ساخت کاغذ، مواد افزودنی و شرایط نگهداری، یک نقش حیاتی را بازی می‌کنند. تغییرات شیمیایی درون کاغذ رخ می‌دهد، پس بدین ترتیب شامل فرایندهای چند پارامتری است. هدف از این مرور، که به‌طور عمده روی دهه اول قرن جدید میلادی تمرکز دارد، ارائه توصیفی از مهم‌ترین تغییرات ایجادشده توسط پیری و یک به‌روزرسانی ابزار جدید در دسترس برای مطالعه زوال کاغذ و حفاظت آن است.

کلیدواژگان: پیری کاغذ، شیمی کاغذ، زوال کاغذ

- ²⁰Cristina Area, Maria; Cheradame, Herve (2011). Paper aging and degradation; recent findings and research methods. *Bio Resources* 6(4), 5307-5337

Paper aging and degradation: Recent findings and research methods

Maria Cristina Area and Herve Cheradame

Mostafa khajeh-mahmoudi; Mohsen Mohammadi Achachloui (translators)

Faculty of Conservation, Art university of Isfahan

Abstract

The present document is a translation of a paper written by Maria Cristinaareaand Herve Cheradame. Paper aging and conservation are matters of concern to those responsible for archives and library collections. Wood-derived fibers are mainly composed of cellulose, hemicelluloses, and lignin, but paper composition can also include additives, such as starch, minerals, and synthetic polymers. Therefore, paper is a multi-component material, and because of its complex and varied nature, research findings in paper chemistry can be difficult to interpret. Deterioration of paper is caused by many factors such as acid hydrolysis, oxidative agents, light, air pollution, or the presence of microorganisms. The origin of the cellulosic material, as well as pulping and papermaking procedures, additives, and storage conditions play a crucial role. The chemical changes occurring within paper thus involve multi-parameter processes. The purpose of this review, which mainly focuses on the first decade of new century, is to provide a description of the more important changes produced by aging and an update of the new tools available for the study of paper deterioration and its conservation.

Keywords: Paper aging, Paper chemistry, Paper degradation.

۱- مقدمه

کاغذ به‌عنوان یک حامل برای اطلاعات نوشته‌شده، در قرن دوازدهم میلادی در اروپا معرفی شد (Levarie 1968). کاغذ یک ماده چند جزئی است و به‌خاطر پیچیدگی و طبیعت متنوعش، تفسیر یافته‌های پژوهشی در شیمی کاغذ می‌تواند سخت باشد، که نیازمند هردو روش شیمیایی و فیزیکی برای فهم خصوصیات آن است. رفتار کلی کاغذ (خواص شیمیایی و مکانیکی، ثبات، زوال، و غیره) شدیداً به طبیعت، منشأ و خصوصیات اجزاء و همچنین به تعاملات‌شان وابسته است. ساختار کاغذ و خصوصیاتش می‌تواند به فرایندهای ساخت نیز بستگی داشته باشد. اجزاء کاغذ می‌توانند براساس منشأ، ساختار شیمیایی و عملکردشان، مانند الیاف (به‌طور عمده از سلولز، گاهی از لیگنین، همی‌سلولزها و دیگر ترکیبات جزئی نیز تشکیل یافته است)، ذرات معدنی (تالک، کائولن، کلسیم کربنات و غیره)، مواد آহারی طبیعی (مانند نشاسته یا کلوфан) یا سنتزی‌ها (مانند آلکیل‌کتندایمر (AKD) و آلکنیل سوکسنیک آنهیدرید (ASA))، رنگ‌ها و دیگر مواد، طبقه‌بندی شوند.

کاغذهای اروپایی پیش صنعتی اغلب شامل الیاف پارچه کهنه و آهار ژلاتین هستند. کاغذهای دست‌ساز از دیگر مناطق ممکن است شامل الیاف غیرچوبی مانند کنف، پوست داخلی توت، بامبو، کاه برنج، همچنین نشاسته‌های مختلف برای آهار، یا بدون آهار باشند. به‌علاوه مرکب یا واسطه چاپی تاریخی مورد استفاده نوشتن و نشان دادن، ممکن است بر ثبات بلندمدت کاغذ تأثیر بگذارد.

پس از اختراع فرایند سنگ زمینه چوبی^{۲۱} (SGV) برای روزنامه‌ها در آلمان (۱۸۴۵)، خمیر سودا^{۲۲} در انگلستان (۱۸۶۶)، فرایند بی‌سولفیت^{۲۳} در سوئد (۱۸۷۵)، و فرایند کرافت^{۲۴} در آلمان (۱۸۸۲)، یک چشم‌انداز جدید در تولید کاغذ باز شد، که اجازه داد تولیدش در سطوح عظیم رشد کند و امکان محبوبیت چوب را به‌عنوان یک ماده خام برتر ایجاد کرد. امروزه، ۹۰٪ کاغذهای چاپی از الیاف مشتق چوب، به‌طور عمده از خمیر کرافت سفید شده (به‌طور عمده ساخته‌شده از سلولز و همی‌سلولز)، یا خمیر مکانیکی (الیاف حاوی لیگنین)، ساخته‌شده است. اجزاء شیمیایی الیاف، فرایند ساخت، و مواد افزودنی، در یک میزان قابل تغییر، بر پایداری کاغذ تأثیر می‌گذارد.

حضور لیگنین در کاغذ در ترکیب با آهار اسیدی که تا میانه قرن بیستم محبوب باقی ماند، یعنی که ما با واقعیتی متفاوت، اما نه کمتر مخرب، در مورد کاغذهای تاریخی روبه‌رو هستیم. ظهور آهارهای خنثی و قلیایی، و معرفی عوامل سفیدکننده جدید، مانند کلرین‌دی‌اکسید، ازن، و هیدروژن‌پروکسید، در میان دیگران، آینده

^{۲۱} Stone groundwood process

^{۲۲} Soda pulping

^{۲۳} Bisulfite process

^{۲۴} Kraft process

کاغذهای امروزی ما را، در بهترین حالت، غیرقابل پیش‌بینی می‌سازد. به این دلیل است که مطالعه حفاظت کاغذهای تاریخی، برای اسنادی که در تاریخ اخیر ما تولید شده‌اند، کاربردی است. چون آن‌ها به‌خاطر فرایندهای ساخت‌شان، متحمل فرایندهای زوال کلاسیک، به‌علاوه تولیدات دیگر شده‌اند. از این نقطه‌نظر، وجود آزمون‌های پیرسازی دقیق، اهمیت حیاتی برای ارزیابی زوال احتمالی کاغذ در دوره‌های طولانی دارد. مقدار سلولز، همی‌سلولز و لیگنین در مواد خام پایه گیاهی معمولی به ترتیب ۴۵-۵۰٪، ۱۵-۳۵٪ و ۲۰-۴۰٪ است. لیگنین یک پلیمر آمورف، آروماتیک، محلول در آب، ناهمگون، سه‌بعدی و متقاطع است. لیگنین می‌تواند تحت عنوان تشکیل‌شده به‌وسیله کopolymerهای انتخابی ناشی از مشتقات الکلی اشباع‌نشده فنیل پروپان در نظر گرفته شود. لیگنین از تکرار دقیق واحدها تشکیل نشده است و می‌تواند به‌طور دقیق‌تر به‌عنوان یک ماکرو مولکول توصیف شود تا یک پلیمر؛ واحدهای فنیل پروپانوئید به‌وسیله بیش از ده نوع مختلف آریل‌اتر و پیوندهای کربن-کربن به یکدیگر متصل هستند. علاوه بر گروه‌های متوکسیل، لیگنین گروه‌های عاملی دیگری شامل فنیل هیدروکسیل، بنزیل الکل و کربونیل را دارد. عملکرد این شبکه برای ارائه یک ماده کامپوزیتی از لحاظ مکانیکی قوی با الیاف سلولز است. همی‌سلولزها یک گروه مختلط از هر دو هتروپلیمرهای خطی و شاخه‌ای هستند که به‌طور عمده شامل پنج قند منومری به نام‌های D-گلوکز، D-مانوز، D-گالاکتوز، D-زایلوز و L-آرابینوز هستند. آن‌ها اغلب به‌وسیله پیوندهای ۱،۴-β-گلیکوزیدی به یکدیگر متصل می‌شوند، اما پیوندهای ۱،۶-β، ۱،۳-β، ۱،۴-α، ۱،۲-α، ۱،۳-α، ۱،۴-α و ۱،۶-α-گلیکوزیدی نیز می‌تواند یافت شود. درجه پلیمریزاسیون (DP) همی‌سلولز ۱۰۰ تا ۲۰۰ است، که این خیلی کمتر از سلولز است. همی‌سلولز و لیگنین به‌صورت کووالانسی با یکدیگر پیوند دارند و این اتصال، استحکام مضاعف ارائه می‌کند (Mukoyoshi et al. 1981; Azuma 1989; Hartley and Ford 2005).

همی‌سلولزهای اصلی چوب‌سختان و گیاهان گرمسیری، گلوکورونوکسیلان و گلوکومانان در هردو، همچنین گالاکتوگلوکومانان‌ها، آرابینوکسیلان‌ها و گلوکورونو آرابینوکسیلان‌ها هستند، درحالی‌که انواع اصلی همی-سلولزهای نرم‌چوب گالاکتوگلوکومانان‌ها، آرابینوگلوکورونوکسیلان، و آرابینوگالاکتان‌ها هستند (Fengel and Wegener 1989; Sjöström 1993; Klemm et al. 1998).

سلولز یک پلیمر شامل واحدهای (۱-۴) DB-گلوکوپیرانوزیل خطی است. زنجیره‌های سلولز یک گرایش قوی به تجمع در سازمان‌های ساختاریافته بسیار منظم، به‌واسطه یکنواختی ساختار شیمیایی و ساختار فضایی-شان دارد. درجه پلیمریزاسیون (DP) سلولز موجود در درخت زنده ناشناخته است، اما اندازه مولکول بومی اغلب ۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ واحد گلوکوپیرانوز بیان می‌شود (Wise 1946; Fengel and Wegener 1989; Wyman et al. 2005). به سبب نظم زنجیره‌ها، الیاف سلولز با درجه نسبتاً بالایی از بلورینگی مشخص شده‌اند. بر پایه رفتار فیزیکی و شیمیایی، ساختار فوق مولکولی میکروفیبریل‌های سلولز با تناوب در محور زنجیره، بین بخش-های منظم کریستالی و آمورف مشخص شده است. درجه پلیمریزاسیون زنجیره سلولز و درجه بلورینگی میکروفیبریل‌های سلولز به طبیعت و منشأ الیاف گیاهی بستگی دارد (Atalla 1999; Klemm et al. 2005).

سلولز به‌هیچ‌وجه بی‌عیب و نقص نیست. بسیاری کتب و اسناد شکننده می‌شوند. در نتیجه، تحقیق فعال در مورد پایداری و دوام کاغذ در اروپا و ایالات متحده به‌خصوص از اواخر دهه ۱۸۰۰ میلادی انجام شده است. به‌همین خاطر، انجمن‌های کتابخانه‌ای، آرشیوی و موزه‌ای اصرار داشتند که استانداردها برای کاغذی که نیاز به پایداری دارد، بر پایه ترکیب آن کاغذ خاص باشد. نتیجه، استانداردهایی بوده است که کاغذ برای قلیایی شدن، برای دارا بودن ذخیره قلیایی (که مقداری ترکیبات بافر است، که قادر به خنثی‌سازی اسیدها در آینده باشد) مانند کلسیم کربنات، و برای نداشتن محتوای لیگنین بیشتر از ۱٪، نیاز دارد. این ترکیب‌بندی استاندارد به‌خاطر عملکرد پیری بسیار عالی کاغذهای بسیار قدیمی که با مشخصات مشابه ساخته شده‌اند، رخ می‌دهد (Roggia 1999).

متأسفانه، شرایط مشخص شده توسط استانداردهای بین‌المللی همیشه یک تضمین کامل را برای دوام کاغذ فراهم نمی‌آورد (Havermans 2002). هنوز نیاز زیادی برای پژوهش‌های کاربردی و اساسی بر روی پیری کاغذ و روش‌های آزمون برای تعیین دوام کاغذ وجود دارد. اگرچه موضوع، به‌طور وسیع مطالعه شده است، رابطه بین پیری طبیعی و مصنوعی هنوز منشأ بحث و گفتگو است و این نکته یک اهمیت برجسته برای افرادی است که در حفاظت کار می‌کنند (Lojewski et al. 2010). جنبه‌های گوناگون پیری طبیعی و تسریعی سلولز و کاغذ به‌صورت عمیق توسط زرووس (۲۰۱۰)²⁵ ارائه و بحث شده است.

تغییرات شیمیایی که در کاغذ به‌واسطه پیری رخ می‌دهد، شامل یک فرایند چند پارامتری است. رویکردهای مختلفی برای این موضوعات در کارهای نویسندگان مختلف می‌توان یافت. برونینگ (۱۹۹۷)²⁶ به‌طور کلی روش‌های کاری که ممکن است ابزاری برای آنالیزهای شیمیایی کاغذ باشد را توصیف کرده است، که از آماده کردن نمونه تا توصیفات جزئی هر روش آنالیز و تأثیراتشان متغیر است. روش‌های اشاره شده شامل تعیین شیمیایی ترکیبات مختلف کاغذ، بر پایه تکنیک‌های در دسترس در زمان است. این کتاب همچنین به برخی موضوعات مورد علاقه برای حفاظت‌گران، مانند پایداری کاغذ و کنترل بیولوژیکی اشاره دارد. گورناگال²⁷ و همکاران مقاله‌ای مروری درباره فاکتورهای تأثیرگذار بر پایداری کاغذ نوشته‌اند. این بازبینی، مقالات بین سال‌های ۱۸۹۵ تا ۱۹۹۳ را با هدف آشکار ساختن پایه‌های عاقلانه و علمی برای خصوصیات مشخص شده در استانداردهای مختلف، برای پایداری کاغذ، پوشش می‌دهد، که بر روی تأثیر نوع خمیر کاغذ تمرکز کرده‌اند. زرووس²⁸ و مورپولو²⁹ (۲۰۰۶) در مورد موضوعات مرتبط مانند پیرسازی تسریعی، انتخاب و تهیه نمونه، برنامه‌ریزی آزمایش‌ها، ساخت روش‌ها برای ارزیابی خواص کاغذ، روش‌های مختلفی که

Zervos²⁵

Browning²⁶

Gurnagul et al. (1993)²⁷

Zervos²⁸

Moropoulou²⁹

به‌وفور مورد استفاده قرار گرفتند و روش‌هایی که هرگز در آن زمان استفاده نشده‌اند، اما پتانسیل کاربرد برای مشکلات خاص ارزیابی را دارند، بحث کرده‌اند. بازبینی مانسو³⁰ و کاروالو³¹ (۲۰۰۹) بر روی چگونگی تکنیک‌های طیف‌سنجی هنری در زمینه حفاظت میراث فرهنگی و خصوصیات کاغذ، شامل مکانیسم‌های ممکن زوال طبیعی و مصنوعی آثار هنری تمرکز کرده است. بازبینی بتی³² و دیگران (۲۰۱۰)، بر روی اسیدزدایی، شامل فاکتورهای تأثیرگذار بر زوال اشیاء پایه کاغذی، به‌ویژه اسیددیده و هیدرولیز سلولز؛ عوامل اسیدزدا؛ روش‌های توزیع، معیار برای قضاوت موفقیت برنامه اسیدزدایی و درمان‌های مرتبط یا جایگزین تمرکز دارد.

هدف از این بازبینی که به‌طور عمده دربرگیرنده دهه اول قرن اخیر است، توصیف تغییرات مهم‌تر ایجادشده توسط پیری، همچنین ارائه یک بررسی اجمالی از ابزار جدید در دسترس برای مطالعه زوال کاغذ و حفاظت آن است. ما در این متن ارائه کردیم: (۱) توصیفی از مهم‌ترین علل زوال کاغذ، (۲) شرحی از ابزارهای پیشرفته اخیر برای مطالعه تأثیر آن‌ها، (۳) این ابزار اخیراً چگونه استفاده شده است.

۲- زوال کاغذ

۲-۱- فاکتورهای تأثیرگذار بر روند زوال

اکثر کاغذها به سبب تأثیر عوامل داخلی (pH، یون‌های فلزی، لیگنین، محصولات زوال یافته) و عوامل خارجی (گرما، رطوبت، گازهای آلاینده) متحمل زوال می‌شوند (Laguardia et al. 2005; Strlic and Kolar 2002). استحکام کاغذ توسط، استحکام ذاتی الیاف و استحکام پیوند بین الیاف تعیین می‌شود. علاوه بر این، استحکام پیوند بین الیاف به ناحیه پیوند نسبی بین الیاف و استحکام پیوند هر واحد از ناحیه پیوند بستگی دارد. خارج از ضعف احتمالی پیوندهای بین الیاف، استحکام کاغذ به‌خاطر از دست رفتن استحکام ذاتی الیاف به سبب تخریب سلولز، کاهش می‌یابد.

تخریب ماکرومولکول‌های سلولز می‌تواند با انواع مختلفی از انرژی‌های ورودی مانند شیمیایی، گرمایی، مکانیکی یا انرژی تابش به ارمغان آورده شود، و می‌تواند به‌وسیله بسیاری مسیرهای واکنشی پیش‌روی کند. حالت‌های تخریب سلولز در کاغذ شامل شیمیایی (هیدرولیز اسیدی، هیدرولیز آنزیمی، زوال قلیایی و زوال اکسیدی)، گرمایی (سطوح مختلفی از دما)، و تابشی (تحت تابش امواج مرئی و UV، تحت تابش امواج با انرژی بالا) است. تقریباً در همه حالت‌های تخریب سلولز به‌جز شاید آنکه ناشی از امواج با انرژی بالاست، ساختار ابرمولکولی سلولز (بلورینگی یا ریخت‌شناسی فیبری) در تعیین میزان و اغلب نیز مسیر یک روند تخریبی،

یک نقش تعیین کننده بازی می کند. نظم فوق العاده بالای زنجیره پلیمر عموماً مانع تخریب می شود (Klemm et al. 1998).

تخریب ایجاد شده توسط مرکب های آهنی-مازویی یک عامل مهم در برخی اسناد تاریخی است. این تخریب در این مقاله گنجانده نشده اما، به صورت عمیق توسط کولار^{۳۳} و استرلیک^{۳۴} (۲۰۰۶) بحث شده است.

۲-۲- تخریب کاتالیز شده اسیدی

فرایندهای پیری در کاغذ منجر به زردشدگی و ازدست رفتن استحکام می شود، که در برجسته ترین واکنش، تخریب هیدرولیتیکی^{۳۵} ماکرومولکول های سلولز است (Porck 2000). میزان فرایند هیدرولیتیکی توسط دما، اسیدیته، و آب موجود در کاغذ (میزان رطوبت تعادل کاغذ) تعیین می شود. پیرسازی تسریعی کاغذ های سلولز خالص با pH اولیه و درجه پلیمریزاسیون پایین منجر به شکنندگی، با یک از دست رفتگی قابل توجه استحکام کاغذ می شود. این تأثیر به طور عمده نتیجه یک کاهش در استحکام الیاف، به سبب تخریب سلولز به وسیله هیدرولیز کاتالیز شده اسیدی است (Williams 1981).

استفاده از آهار زاج-کلو فان در ساخت کاغذ، به عنوان دلیل عمده تخریب کاغذ تشخیص داده شده است (Williams 1981; Chunha 1988; Chamberlain 2007). این به دلیل ترکیبات آلومینیوم معمولی به کار رفته در ساخت کاغذ است که با آزادی اسیدیته هیدرولیز می شود و شرایط اسیدی برای پیشرفت تخریب سلولز شناخته می شود که درجه پلیمریزاسیون آن را کاهش می دهد. به علاوه، اسیدیته از اتمسفرهای آلوده می تواند وارد نواحی کم تراکم، باز و آمورف الیاف شود و زنجیره پلیمر را به وسیله هیدرولیز بشکند (Stephens et al. 2008). pH مهم ترین عامل در استحکام و ثبات رنگ کاغذ است. آلوم یک نقش مهم تر در pH در طی پیری طبیعی کاغذ ایفا می کند. هنگامی که همه کاغذ ها حاوی مقادیری Al است، غلظت آن باید بالای سطوح معین باشد تا یک اثر مضر روی نمونه ها داشته باشد. همچنین به نظر می رسد که Ca و Mg مانند Al، هنگامی که در مقادیر معین باشند، روی مقاومت کاغذ تأثیر مثبت دارند. با مطالعه خواص چهل کاغذ به صورت طبیعی پیر شده، اخذ شده از کتاب های تاریخی سال های ۱۴۷۷ تا ۱۷۹۳ میلادی، استفنز^{۳۶} و دیگران (۲۰۰۸) دریافتند هنگامی که مقدار Al بالاتر از ۶۱۰ ppm بود، بدون در نظر گرفتن مقادیر فلزات قلیایی خاکی آن ها، نمونه ها اسیدی بودند. هنگامی که مقدار Al پایین تر از ۶۱۰ ppm و مقادیر Ca یا Mg به ترتیب پایین ۵۰۰۰ و ۸۴۰ ppm بودند نیز همان مشاهده شد. برعکس، هنگامی که مقدار Al پایین تر از ۶۱۰ ppm بود، و کاغذ مقادیر Ca

Kolar^{۳۳}

Strlic^{۳۴}

Hydrolytic degradation^{۳۵}

Stephens^{۳۶}

یا Mg را به ترتیب بیش از ۵۰۰۰ و ۸۴۰ ppm داشت، نمونه‌ها قلیایی بودند. این نتایج ممکن است بینشی نسبت به آن عناصر و این که pH در بلندمدت، در چه غلظتی کنترل شود، را ارائه کند.

کاغذ ساخته شده تحت شرایط طبیعی و حاوی حدود دوسوم خمیر چوب، ثبات مکانیکی بسیار عالی تحت پیرسازی رطوبت-گرما نشان داد (Lyne 1995)، و می‌تواند به عنوان پایدار، تحت استانداردهای آزمون آلمان مشخص شود. علت اصلی تخریب، هیدرولیز اسیدی سلولز تعیین شد که یک واکنش خودکاتالیزی است. محتوای همی سلولزها می‌تواند به عنوان یک عامل شرکت کننده در میزان تخریب الیاف خمیر چوب باشد. همچنین ممکن است که اسیدهای کلوفان موجود در خمیرهای چوب بتواند دلیل یک حمله مشابه باشد. هرچند این مکانیسم‌های تخریب کمکی، فقط تحت شرایط اسیدی می‌تواند انجام شود (Lyne 1995).

عوامل اسیدزدا برای دورماندن از هیدرولیز اسیدی، یک ذخیره قلیایی ارائه می‌کنند. هرچند، برخی پژوهشگران کاهش شدیدی در DP سلولز و زردشدگی کاغذ را پس از پیرسازی تسریعی رطوبت-گرما گزارش کردند. برای مثال، استفاده از سدیم تتراپورات^{۳۷} یک افزایش در pH و ذخیره قلیایی، همراه با یک نتیجه افزایش در میزان خاکسترا موجب شد، اما پیرسازی رطوبت-گرما کاغذ شامل یک کاهش شدید DP در مقایسه با درمان آب خالص (۴۲٪-)، همراه با یک زردشدگی قابل توجه (کاهش سفیدی، ۱۶/۷-) و یک کاهش شدید (نزدیک یک سوم) در ذخیره قلیایی کاغذ بود (Botti et al. 2006).

مطالعات اخیر نشان می‌دهد که واپسپارش توسط هیدرولیز اسیدی سلولز در محیط اسیدی همگن نیز متأثر از یک فرایند کاتالیز خودبه خودی^{۳۸}، با یک بازخورد مثبت تولید اسید از بیوپلیمر تخریب شده است. تعداد نرمال انشعابات هر زنجیره سلولز از یک رفتار پیچیده تبعیت می‌کند، با کاهش غلظت سلولز به صورت نمایی وابستگی زمانی خطی و مکعبیدارد.

۲-۳- تخریب قلیایی سلولز

سلولز هنگامی که در معرض پایگاه‌های قوی قرار می‌گیرد، انتهای زنجیره می‌تواند عکس العمل نشان دهد و تحت تأثیر واکنش‌های واپسپارش شناخته شده قرار گیرد. مکانیسم تخریب قلیایی سلولز شامل توالی زیر است: ایزومریزاسیون؛ حذف β -آلکوکسی "واکنش پیلینگ"؛ تاتومریسیون؛ و اسیدبنزلیک که به اسید گلوکوایزوساکارینیک بازآرایش می‌شود (Sjöström 1993). این واکنش، تأثیر مخرب پایگاه‌های بیش از حد قوی مانند ذرات کلسیم هیدروکسید یا الکلیت (RO^-) را روی دوام کاغذ توضیح می‌دهد. لازم به ذکر است که این گونه‌ها، هنگامی که در معرض هوا قرار می‌گیرند، به سرعت به درون کربنات‌های مربوطه که بیش از این

Sodium tetraborate^{۳۷}
Autocatalytic^{۳۸}

شامل این واکنش و اسپارش نیستند، جابه‌جا می‌شوند. چنین گونه‌هایی در بسیاری فرایندهای اسیدزدایی حجیم استفاده می‌شوند.

گروه‌های اکسیدشده سلولز، نواحی بالقوه‌ای برای تخریب هستند، از آنجاکه زنجیره‌های سلولز اکسیدشده واقعاً شکسته شده نیستند، اما آن‌ها می‌توانند در هر دو محیط قلیایی و اسیدی، حتی در دمای اتاق تحت شرایط آرام، تخریب شوند (Calvini and Gorassini 2006). این واکنش، به مطالعه میزان تخریب سلولز اکسیدشده در محیط قلیایی، به‌عنوان مثال پس از اسیدزدایی، مربوط است. در این مورد، سینتیک‌های^{۳۹} با مجموع هر دو تخریب واقعی (هیدرولیتیک) و بالقوه (اکسیدکننده) مرتبط است.

یک مرور گسترده از تخریب سلولز تحت شرایط قلیایی به‌وسیله نیل^{۴۰} و کندی^{۴۱} (۲۰۰۳) ارائه شده است. عموماً محصولات شناخته‌شده تخریب قلیایی، پس از خنثی‌سازی، در میان بسیاری دیگر، فرمیک‌اسید، استیک‌اسید، هیدروکسی‌استیک، گلیکولیک اسید، DL-گلیسرک اسید، ۳-هیدروکسی-DL-لاکتیک اسید، ساکسینیک اسید، بوتیریک اسید، ۲-هیدروکسی بوتانوئیک اسید، ۲-متیل-۲، ۳-دی‌هیدروکسی پروپانوئیک اسید، ۲-متیل-DL-گلیسرک اسید، ۲-متیل-۳-هیدروکسی-DL-لاکتیک اسید و ۳،۲-R-دی‌هیدروکسی بوتانوئیک اسید و غیره هستند.

۲-۴- اکسیداسیون

تخریب اکسیداتیوی سلولز در درجه اول ناشی از حضور اکسیژن در هوای محیط است. اکسیداسیون پلیمر سلولز، گروه‌های جانبی، آلدهیدها، و کتون‌ها را معرفی می‌کند، که مولکولی می‌سازند که به راحتی هیدرولیز می‌شود. رادیکال‌های آزاد تولید شده توسط اکسیداسیون یا به‌وسیله نور می‌توانند همچنین زنجیره سلولز را قطع کنند. از آنجاکه از طریق فتواکسیداسیون، گروه‌های الکل اولیه در پلیمر سلولز می‌توانند به آلدهیدها و بعدتر به گونه‌های اسید کربوکسیلیک اکسید شوند، اکسیداسیون سلولز همچنین در افزایش غلظت اسید در کاغذ همکاری می‌کند.

لازم به ذکر است که اگرچه برخی گونه‌های رنگی می‌توانند در کاغذهای پیرشده یافت شود، باید این را فهمید که خطوط قهوه‌ای می‌تواند در کاغذ سلولز خالص در آب مقطر تولید شود. اگر کاغذ از قبل شستشو داده شده، فرایندی که خط آب را ایجاد می‌کند می‌تواند کاهش یابد، اما پس از چند هفته، شکل مشابهی از خط آب احتمال دارد دوباره رخ دهد. ممکن است نتیجه گرفته شود که گونه‌های مسئول برای تخریب سلولز و شکل‌گیری گونه‌های قهوه‌ای، به‌خودی‌خود شکل می‌گیرند (Evance and wallis 1989). مکانیسم دقیق در

حال حاضر آشکار نیست، اما می‌تواند اکسیداتیوی باشد، از آنجاکه آلکیل هیدروپروکسیدها و گونه‌های رادیکال آزاد محلول در آب می‌توانند در کاغذ شکل بگیرند و در خط آب انباشته شوند. در کل، این فرایند اکسیداتیوی توسط شیمی آلی پایه پشتیبانی می‌شود، از آنجاکه سلولز، که یک پلیمر حاوی اکسیژن است، می‌تواند عملکرد پروکسی شکل گرفته به وسیله واکنش با دی‌اکسیژن را تحت تأثیر قرار دهد. حرکت و انباشتگی چنین محصولاتی در خط آب می‌تواند منجر به یک شیوع واکنش‌های زنجیره‌ای رادیکالی شود. البته، شکل تخریبی که در خط آب رخ می‌دهد با شیمی تخریب سلولز و پیری کاغذ مرتبط است، از آنجاکه تکه‌تکه شدن زنجیره ماکرومولکول مشاهده شده است. این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که سلولز به آرامی اما به صورت تصاعدی، حتی در حضور آب تخریب می‌شود.

اکسیداسیون خودبه‌خودی سلولز در محیط قلیایی، به صورت آزمایشگاهی به وسیله بررسی میزان جذب اکسیژن، تغییر در درجه پلیمریزاسیون، تغییرات در گروه‌های عاملی، و ترکیب شیمیایی سلولز و محصولات تجزیه با وزن مولکولی کم حاصله، پیگیری شده است. یک مقدار کوچک از اکسیژن جذب شده، یک تغییر قابل توجه در درجه پلیمریزاسیون ایجاد می‌کند، که نشان می‌دهد که اکسیداسیون در تمام طول زنجیره ماکرومولکول سلولز و نه فقط در انتهای آن، رخ می‌دهد. هردو گروه‌های آلدهیدی و کتونی در اکسیداسیون قلیایی سلولز شکل می‌گیرند، اما گروه‌های کربونیل تحت اکسیداسیون بیشتر یا واکنش‌های دیگر شکل می‌گیرند. میزان گروه‌های کربوکسیلی به تدریج با افزایش طول اکسیداسیون، افزایش می‌یابد (Golova and Nosova 1973).

این اکسیداسیون که در یک واکنش زنجیره‌ای خودکاتالیزوری (اکسیداسیون خودبه‌خودی) پیشرفت می‌کند، شامل رادیکال‌های آزاد است. در ترتیب واکنش اکسیداسیون خودبه‌خودی، فلزات واسطه یک نقش فوق‌العاده مهم بازی می‌کنند، چنانچه آن‌ها محصول رادیکال‌های آزاد از هیدروپروکسیدها، محصولات واکنش حد واسط اکسیژن اتمسفر و مواد ارگانیک را کاتالیز می‌کنند. این واکنش کاتالیزی می‌تواند با معرفی عوامل پیچیده (آنتی‌اکسیدان‌های پیشگیرانه) که فلز واسطه را یا به وسیله تغییر خواص کاهشی/اکسایشی‌اش یا با غیرقابل دسترس کردن آن به هیدروپروکسیدها، غیرفعال می‌کنند، مداخله شود. میزان فلزات واسطه در اکثر مواد سلولزی به اندازه کافی پایین است که یک مشکل حاد بروز ندهد. هرچند، در برخی مرکب‌ها (به‌ویژه مرکب آهنی مازویی، یا مرکب تانات فلزی) و رنگدانه‌ها، مقادیر زیادی از آهن و مس وجود دارند، که این ممکن است منجر به تخریب موضعی گسترده شود به حدی که بسیاری از اسناد تاریخی دیگر به آسانی قابل خواندن نیستند (Strlic and Kolar 2002). اینجا لازم به یادآوری است که یون‌های آهن که گونه‌های به شدت اسیدی هستند، گاهی اوقات در شیمی آلی تولید واسطه‌های به شدت اسیدی، مانند یون‌های کاربنیوم^{۴۲} استفاده می‌شوند (Rissoan et al. 1997).

اکسیداسیون در طی پیرسازی تسریعی دمایی توسط فعالیت اکسیژن (اکسیداسیون خود به خودی) به ارمغان آورده می‌شود. اکسیژن محیط به عنوان یک عامل اکسیدکننده غیراختصاصی، نه مستقیماً، اما به وسیله مکانیسم‌های پیچیده مختلف، احتمالاً توسط تبدیل ترمینال یا دیگر کربونیل‌های موجود به پروکسیدها عمل می‌کند، بنابراین با بازگشایی یا بدون بازگشایی حلقه، کربونیل‌ها و پروکسیدهای جدید را تولید می‌کند. سلولز اکسیدشده سریعاً توسط هیدرولیز اسیدی یا تحت شرایط قلیایی تخریب می‌شود. واکنش با جذب یک اتم هیدروژن در پیوند با یک کربن، به وسیله یک رادیکال هیدروکسیل شروع می‌شود. یک رادیکال هیدروکسی آلکیل تولید می‌شود و به وسیله اکسیژن، به ساختار کربونیلی متناظر، با آلکوکسید در یک موقعیت β در کربونیل، تبدیل می‌شود. یک H^+ مجاور سپس به وسیله یک OH^- ربوده می‌شود، و یک کربانیون^{۴۳} تولید می‌شود، که توسط یک تغییر شارژ و یک شکافتن پیوند گلیکوزیدی تثبیت می‌شود (Zervos 2010). این واکنش، هنگامی که کاغذ با آهار ضعیف، اسیدی و اکسیدشده در معرض فرایندهای اسیدزدایی قرار می‌گیرد، سبب یک تأثیر فوری و زیان‌آور می‌شود.

۲-۵- تخریب بیولوژیکی

در کنار تخریب فیزیکی- شیمیایی، کاغذ می‌تواند در معرض حملات بیولوژیکی و تخریب قرار گیرد. آلودگی‌های بیولوژیکی گوناگون، حتی در کتابخانه‌ها و آرشیوها محتمل است، و تأثیرشان مانند عملکرد شرایط محیطی و ترکیب بستر می‌تواند مختلف باشد. حشرات و قارچ‌ها شایع‌ترین علت مشکلات بیولوژیکی هستند. درمان مواد پایه کاغذی در برابر حشرات، تا حدودی از این بازبینی خارج است، اما داده‌ها نشان می‌دهد که این تأثیر می‌تواند در مقاله کستر^{۴۴} و دیگران (۲۰۰۰) یافت شود.

لازم به ذکر است که تخریب بیولوژیکی، شایع‌ترین منبع شناسایی‌شده تخریب آرشیوها و کتاب‌ها در کشورهای واقع شده در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری است. مقالات گسترده‌ای در تخریب بیولوژیکی کاغذ ایجاد شده به وسیله قارچ در دسترس است (Kowalike 1980; Szczepanowska 1986; Zyska 1997; Zotti et al. 2008). مطالعات اخیر بر روی تخریب بیولوژیکی، به دنبال شناسایی ایزوله‌ها از نواحی حمله شده توسط قارچ‌ها، با استفاده از تکنیک‌های بیولوژیکی مولکولی است (Michaelson et al. 2006; Rakotonirainy et al. 2007).

متوقف کردن این شکل از پیشرفت تخریب آسان نیست، به خاطر اینکه منشأ آن اغلب شرایط نگهداری نادرست است. *Paecilomyces Variotti* و *Aspergillus Niger* در میان رایج‌ترین لکه‌های قارچی یافت شده در

اسناد آلوده، نماینده هستند. درمان مؤثر کاغذ با احتمال تخریب بیولوژیکی ایجاد شده به وسیله میکروارگانیسم-ها، می‌تواند به وسیله در معرض قرار دادن آن‌ها در یک اتمسفر اتیلن اکساید^{۴۵} یا تابش^{۴۶} حاصل شود. درمان پیشین، که شامل اداره یک گاز خطرناک بود، استفاده از سخت‌افزار مناسب، مشابه فرایندهای مورد استفاده در بسیاری از بیمارستان‌ها را ناگزیر می‌ساخت. به علاوه، نتایج پژوهش والنیتین^{۴۷} (۱۹۸۶) نشان می‌دهد (درمیان دیگر چیزها) که گندزدایی اتیلن اکساید، کاغذ را نسبت به قارچ حساس‌تر می‌کند. در پاسخ به نیاز برای مواد شیمیایی کارآمد، تأثیر ضد قارچی مخلوط‌های متیل و پروپیل پارابن^{۴۸} در غلظت‌های مختلف ارزیابی شد و تغییرات کمی در خواص کاغذ مشاهده شد. هرچند، این تکنیک باید بیشتر آزمایش شود (Neves et al. 2009).

عملکرد برای درمان‌های کاغذ با تابش یونیزه برای ریشه‌کن کردن عوامل مخرب بیولوژیکی در کتابخانه‌ها و آرشیوها، فقط به‌طور انحصاری برای بهبود مقادیر زیادی از مواد کتابخانه‌ای پس از فاجعه‌هایی مانند سیل‌های بزرگ ایجاد شده است. تابش گاما حشرات و قارچ را در کاغذ حذف می‌کند، سمیت و آلودگی برجای‌مانده ندارد، و مقادیر زیادی از مواد، در زمان کوتاهی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Calvo et al. 2010). بازبینی ماگودا^{۴۹} (۲۰۰۴) مراحل آزمون اصلی انجام شده برای دریافت مجوز کاربرد درمان تابش یونیزه برای کتاب‌های تخریب شده و اسناد آرشیوی را به‌عنوان یک ابزار فیزیکی برای بهبود آن‌ها از مهم‌ترین عوامل مخرب بیولوژیکی شرح می‌دهد. درحالی‌که آزمایش‌ها برای دستیابی به پایین‌ترین دوز تابش گاما برای غیر فعال کردن قارچ‌ها انجام شد (Dasilva et al. 2006)، آزمایش‌های اخیر بر روی مطالعه تأثیرات تابش بر خواص کاغذ، به‌خصوص آن‌هایی که با استحکام و ظاهر مرتبط است، تمرکز کرده است (D'Almeida et al. 2009; Calvo et al. 2010).

دیگر نویسندگان تلاش کردند آلودگی میکروبی را به وسیله درمان پلاسما با نتایج امیدوارکننده، حذف کنند و یا کاهش دهند (Laguardia et al. 2005).

توصیف کامل چنین درمان‌هایی نیز خارج از محدوده این مقاله است، اما اطلاعات دقیقی می‌تواند دریافت شود، برای مثال در بانکول^{۵۰} (۲۰۱۰)، که وضعیت فعلی پژوهش روی عوامل بیولوژیکی مختلف را که می‌توانند سبب تخریب آثار کاغذی شوند و استراتژی‌های مداخله احتمالی در برابر این عوامل زیستی را، بازبینی کرده است.

Ethylene oxide^{۴۵}

Radiation^{۴۶}

Valentin^{۴۷}

Methyl and propyl paraben mixtures^{۴۸}

Magauda^{۴۹}

Bankole^{۵۰}

تخریب بیولوژیکی تا آنجا نگران‌کننده است، که بیش از ۲۰۰ قارچ می‌تواند شناسایی شود. آن‌ها قادر هستند از یک سلول ساده، تکثیر شوند و یک بنیاد که میسلیم نامیده می‌شود را تولید کنند که قادر است بر روی سطوح جامد گسترش یابد. هرچند، آن‌ها بسترهایی مانند سلولز، یا حتی ژلاتین را که منبع تغذیه‌ای برای گسترش آن‌ها ارائه می‌کنند، ترجیح می‌دهند. به‌منظور رشد، قارچ‌ها آنزیم‌هایی را تولید می‌کنند که به‌صورت شیمیایی به الیاف کاغذ حمله می‌کنند و ماکرومولکول‌های سلولز را می‌شکنند. هرچند، این تنها مشکل نیست. متابولیسم قارچ ضایعات اسیدی تولید می‌کند، که در تخریب کاغذ شرکت می‌کند. همان‌طور که قبلاً ذکر شده است، اسیدی شدن خودش یک منبع تخریب کاغذ است. به‌عنوان یک نتیجه، حمله قارچ شکنندگی و لکه‌های رنگی را در سطح کاغذ افزایش می‌دهد. مشکل، مقاومت باورنکردنی اسپورهایی است که منشأ گسترش قارچ‌ها هستند. آن‌ها می‌توانند سال‌ها ساکن و "درحالت خواب" بمانند و در شرایط مطلوب (رطوبت، دما) فعال شوند. لازم به ذکر است که قارچ‌ها می‌توانند بر اساس شکل اسپورشان شناسایی شوند. قارچ‌ها برای گسترش به یک منبع غذای آلی نیازمندند، و مواد حاوی سلولز مانند کاغذ، یک بستر خوب را برای رشد آن‌ها ارائه می‌کنند. خسارات برگشت‌ناپذیر هستند و در بلندمدت می‌تواند سبب تخریب کامل اسناد شود. هرچند، برخی مطالعات بیولوژیکی آشکار ساخته است که ممکن است سلولز در سطح الیاف بازسازی شود، تحت شرایط مناسب، که استحکام الیاف را بازسازی می‌کند. این مطالعات مقدماتی به‌وسیله اشباع کاغذهای آسیب‌دیده با آنزیم‌ها و مواد شیمیایی مناسب انجام شده است، اما آن‌ها از یک کاربرد عملی خیلی دور هستند (Kobayashi and Shoda 1995).

هنگامی که آلودگی توسط قارچ به‌طور فعال، در یک مخزن ثابت شده است، متوقف کردن رشد میکروارگانیسم‌ها می‌تواند سخت باشد، از آنجاکه تنها فرایند ضدعفونی مؤثر رایج در دسترس برای اسناد همان‌طور که در بالا توضیح داده شد، شامل اتیلن اکساید است و ضدعفونی هوایی اتمسفر ناحیه انبار است. چنین مداخله‌هایی سخت، زمان‌بر، و گران است. بنابراین پیشگیری از رشد قارچ، یک امر ضروری و یک چالش واقعی برای کتابداران و نگهدارندگان مجموعه‌ها است. کنترل با دقت محیط و تمیزکاری منظم، به‌منظور دوری از آلودگی بیولوژیکی توصیه شده است. هرچند چنین معیارهای پیشگیری، به‌ویژه در مورد بلایای طبیعی سیل، همیشه مؤثر نیست. هنگامی که برخی روش‌ها برای متوقف کردن رشد قارچ‌ها موجود است، باید در نظر داشته باشید که به‌محض اینکه یک سند خیس شد، غرق در آب شد و یا در معرض رطوبت قرار گرفت، درخطر فوری است و باید خشک شود، ترجیحاً انجماد خشک، و به‌وسیله برخی تکنیک‌های اشاره‌شده درمان شود.

زیسکا^{۵۱} قارچ‌های جداشده از یک مجموعه کامل مواد کتابخانه‌ای مانند کتاب‌ها در حالت‌های مختلف، شامل کاغذ پوستی، چرم، بافته‌ها، انواع مختلف مواد صوتی تصویری، چوب و مواد سنتزی را مطالعه و فهرست کرده است. ازجمله ۸۴ جنس، و ۲۳۴ گونه مختلف ارائه شده است. این کشف در اینجا نگرانی است، برخی قارچ‌های

درگیر در تخریب مواد کتابخانه‌ای ممکن است به‌عنوان منبعی از تولیدات سمی برای این مواد کتابخانه‌ای رفتار کنند. در حقیقت گزارش شده است که در حدود ۱۹٪ قارچ‌ها می‌توانند به‌عنوان یک منبع مایکوتوکسین-ها^{۵۲} باشند (Zyska 1997). در یک مورد، به‌نظر می‌رسد قارچ یک نقش اساسی در تخریب کاغذ، بازی می‌کند. به‌عنوان مثال، یک بررسی روی قلم‌زنی‌های قرن هجدهم در موزه di Sant'Agostino در جنوا، ایتالیا، نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها آلوده به بنیان‌های قارچی بودند (Zottiet al. 2008). این مقاله همچنین اشاره می‌کند که داده‌های جمع‌آوری‌شده، نظریه‌ای که وجود یک ارتباط بین فلورسانس لکه‌های تحت تابش UV و خاصیت حیاتی قارچ را توضیح می‌دهد، تأیید نمی‌کند. یک درمان جهانی، توانایی برای اسیدزدایی، تقویت کردن، و محافظت در برابر حمله بیولوژیکی بیش‌تر، هنوز یک چالش است (Rakotonirainy et al. 2008).

۲-۶- جذب آلاینده‌های جوی

آلاینده‌های جوی در تکامل شیمیایی کاغذ در پیری یک نقش برجسته بازی می‌کنند. اکثر مطالعات درباره این موضوع مورخ دهه ۱۹۹۰ هستند. درجاتی از کاغذ روزنامه و کاغذ سفید پوشیده^{۵۳} برای مطالعه جذب SO₂ و NO₂ استفاده شده است. هر دو ۱۳ تا ۲۹ هفته در معرض جذب سراسری تابش قرار گرفتند و هر دو چه به‌تنهایی، چه به‌عنوان یک مخلوط با سرعت یکسان برداشته شدند. نمونه‌های کاغذ، ظرفیت جذب SO₂ بیش‌تری از جذب NO₂ داشت. سولفات، صرف‌نظر از نوع کاغذ، اسیدزدایی شده یا نشده، فقط محصول حاوی گوگرد جذب‌شده بود. نیتريت و نیترات، دو محصول حاوی نیتروژن جذب‌شده، با یکدیگر برای همه NO₂ جذب شده محاسبه می‌شوند (Havermans 1994; Grosjean 2006).

بازبینی‌ها درباره تأثیر آلاینده‌های جوی روی پایداری کاغذ اشاره می‌کند که جذب دی اکسید سولفور به‌وسیله کاغذ به برخی عوامل بستگی دارد (Williams II and Grosjean 1992; Gurnagul and Zou 1994; Zou et al. 1998). غلظت سولفات و مواد آرسنیک در نتیجه، یک وسعت خیلی بیش‌تر از غلظت مورد انتظار بر اساس غلظت آلومینیوم، آلومینیوم سولفات یا آلوم اندازگی‌گیری شده داشت. به‌علاوه، اندازه‌گیری‌های غلظت نیترات به‌عنوان یک تابع از سن کاغذ، اشاره می‌کند که مقدار نیترات کاغذ با سن نمونه‌ها افزایش می‌یابد. نتایج آلودگی تأیید می‌کند که ورق‌های حاصل از خمیرهای مکانیکی، آلودگی‌های هوای بیش‌تری را جذب می‌کنند و یک کاهش روشنایی بیش‌تری از ورق‌های عاری از لیگنین نشان می‌دهند. بر اساس مقالات مروری (پایین را ببینید)، لیگنین هیچ تأثیر منفی بر روی پایداری مکانیکی کاغذ نداشته است.

۲-۷- تأثیر لیگنین بر روی فرایند تخریب

درحالی‌که الیاف خمیرهای شیمیایی سفیدکاری شده اکثراً از سلولز، با یک نسبت کمتر همی‌سلولز، تشکیل یافته است، الیاف خمیرهای مکانیکی تقریباً همه لیگنین اصلی موجود در چوب را نگه‌داشته‌اند. برخی استانداردهای پایداری، مانند استاندارد ANSI، استانداردهای ASTM در USA، استاندارد بین‌المللی ISO و غیره، تعیین می‌کنند که کاغذ پایدار باید قلیایی (همان‌طور که نشان داده‌شده توسط pH یک عصاره آبی) و حاوی حداقل ۲ درصد CaCO_3 برای عمل به‌عنوان یک بافر (یا ذخیره قلیایی) باشد. به‌علاوه، این استانداردها نیازمند حذف واقعی لیگنین از ترکیب کاغذ هستند، به‌خاطر اینکه این تصور وجود داشت که لیگنین ممکن است در تخریب مکانیکی‌اش همکاری کند (Arnold 1998).

تحت تأثیر تابش UV و همچنین نور مرئی، کاغذ خمیر چوب زرد می‌شود، ساختار پیچیده لیگنین تغییر می‌کند، و درنتیجه، به محصولات تخریبی مختلف با وزن مولکولی پایین، با خواص کروموفوری تقسیم می‌شود. این محصولات تخریبی در کاغذ باقی می‌مانند و تأثیر قابل‌توجهی بر قابلیت استفاده و طول عمر کاغذ خمیر چوب می‌گذارند. حضور گروه‌های آزاد فنولیک هیدروکسیل و گروه‌های کربونیل- αC برای واکنش‌های رادیکالی اکسیداسیون ناشی از نور بر روی لیگنین، نیاز است. دیگر عوامل مهم تخریب لیگنین واکنش‌های هیدرولیتیکی در یک محیط اسیدی یا قلیایی هستند (Bukovsky 2000). اکسیداسیون ناشی از نور در کاغذ خمیر چوب، به کروموفورهای ثانویه برای رنگ و توانایی جذب طول‌موج‌های مرئی نور، وابسته است. این گونه‌ها، به‌وسیله واکنش‌های تخریبی اکسیدی لیگنین تولید می‌شوند، و آن‌ها در دو شکل رخ می‌دهند. جذب نور در ساختارهای شیمیایی خاص در مولکول لیگنین صورت می‌گیرد و این گروه‌های کروموفوری به‌وسیله واکنش‌های رادیکالی در حضور اکسیژن، تغییر پیدا می‌کنند. این فاز اولیه اکسیداسیون، با یک افزایش در ایجاد کربونیل، مرتبط است، اما تقسیم مولکول لیگنین در این نقطه اتفاق نمی‌افتد. گروه دیگر کروموفورهای ثانویه شامل عواملی با جرم مولکولی کم، شکل‌گرفته توسط یک فرایند پیچیده تخریب اکسیداسیون هستند و مولکول لیگنین تقسیم می‌شود. حتی جزء سلولز کاغذ متحمل تخریب‌های اکسیداتیوی و فتواکسیداتیوی می‌شود. وسعت این تخریب در مقایسه با تخریب لیگنین، خیلی کم است (Bukovsky and trnkova 2003).

خمیرهای مکانیکی یکی از مهم‌ترین محصولات صنعت کانادا هستند. بین سال‌های ۱۹۹۴ و ۱۹۹۷ میلادی، پژوهشگران کانادایی یک پروژه تحقیقاتی بلندپروازانه را برای بررسی تأثیر لیگنین بر پایداری کاغذ در هر دو محیط‌های بی‌خطر و آلوده انجام دادند (Michaels 1997). افراد در ارتباط با کتابخانه‌ها و آرشیوها مدت زیادی مشاهده کرده‌اند که لیگنین عامل زردشدگی به‌نظر می‌رسید، و به نظر می‌رسید هر دو لیگنین و زردشدگی با پیری کاغذ در ارتباط باشند. در همین حال، صنعت پژوهشی را انجام داد، اکثراً آزمون‌های فیزیکی، که نشان می‌داد زردشدگی کاغذ، دلالتی بر تخریب همزمان آن ندارد. درواقع، یک مطالعه در مورد

تأثیر میزان لیگنین بر دوام کاغذ نشان می‌دهد که میزان لیگنین بین ۰ تا ۲۸٪، ازدست‌رفتگی بحرانی خواص مکانیکی را در طی پیری ایجاد نمی‌کند (Zou et al. 1998).

تأثیر گروه‌های سولفونیک اسید بر پایداری مکانیکی کاغذ، به‌وسیلهٔ پیرسازی تسریعی خمیر مکانیکی حرارتی (TMP) سولفون شده^{۵۴} در سطوح مختلف بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که گروه‌های اسیدی در شکل هیدروژن یک تأثیر منفی قابل توجه بر پایداری مکانیکی کاغذ دارند، درحالی‌که خنثی‌سازی این گروه‌ها به‌وسیله درمان با NaOH یا CaCO₃ به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای آن را بهبود می‌بخشد. خمیر مکانیکی سولفون شده پس از شستشو با آب شیرین، پایداری مکانیکی خوبی داشت، به‌خاطر اینکه گروه‌های اسیدی به سبب تبادل یونی در طی شستشو، اکثراً در فرم کلسیم هستند (Zou and Gurnagul 1995). در مطالعات مربوط به اکسیداسیون خودبه‌خودی خمیرهای حاوی لیگنین و خمیرهای بدون لیگنین، نویسندگان تغییر رنگ قابل توجه برای خمیر حاوی لیگنین دریافتند و پیشنهاد می‌کنند که تغییر رنگ لیگنین یک تظاهر از خواص آنتی‌اکسیدانی آن است (Schmidt et al. 1995).

اسیدیته، به‌جای ترکیب الیاف، مهم‌ترین عاملی است که بر دوام هر دو کاغذهای حاوی لیگنین و کاغذهای بدون لیگنین در پیرسازی تسریعی تأثیرگذار است. افزودن CaCO₃ به‌عنوان یک ترکیب بافری، دوام هر دو کاغذهای حاوی لیگنین و کاغذهای بدون لیگنین در معرض آلاینده‌های هوا را به‌طور قابل‌توجهی بهبود می‌بخشد. خواص نوری کاغذهای حاوی لیگنین قلیایی، کم پایدارتر از کاغذهای بدون لیگنین قلیایی است. بنابراین، استاندارد ملی CAN/CGSB-9.70-2000 پایداری کاغذ برای یادداشت‌ها، کتاب‌ها و دیگر اسناد، تأیید شده در کانادا در سال ۲۰۰۰، نیاز دائمی کاغذها به داشتن یک ذخیره قلیایی، یک مقدار pH در محدوده ۷ تا ۱۰ است، و همچنین استحکام و ویژگی‌های عملکردی تا پایان دوره استفاده، موردنیاز است. این استاندارد تصدیق می‌کند که برای اکثر عملکردهای کاغذ، یکپارچگی فیزیکی کاغذ نیازمندی اصلی است؛ بنابراین استفاده از الیاف حاوی لیگنین نباید یک مسئله شود. هرچند، برای کمک به تضمین پایداری نوری حداکثری، جایی که موردنیاز است (به‌عنوان مثال آثار هنری)، این استاندارد اخیراً محدود کردن مقدار لیگنین در ۱٪ را توصیه می‌کند (Zou and Gurnagul 1995).

۳- روش‌های مطالعه زوال کاغذ

۳-۱- پیری طبیعی در مقابل پیرسازی مصنوعی

پیرسازی تسریعی از آزمون‌های کاغذ برای سه هدف اصلی انجام می‌شود. اولین هدف برای ایجاد رتبه‌بندی نسبی مواد، یا ترکیبات فیزیکی مواد، با توجه به ثبات شیمیایی یا دوام فیزیکی، به‌راحتی در یک زمان

کوتاهاست. دومین هدف است برای ارزیابی یا "پیش‌بینی" قابلیت کار بلندمدت بالقوه سیستم‌های مواد تحت شرایط مورد انتظار استفاده و سومین هدف برای روشن کردن واکنش‌های شیمیایی درگیر (مکانیسم تخریب) و نتیجه فیزیکی آن است (Feller and Marina del Rey 1994). این آزمون‌ها معمولاً برای درک مکانیسم‌های تخریبی هیدرولیز اسیدی و اکسیداسیون سلولز، همی سلولز و لیگنین استفاده می‌شوند (proniewicz et al. 2002).

یک گزارش گسترده (Porek 2000)، یک بازبینی از وضعیت فعلی امور مرتبط با امکانات و محدودیت‌های آنالیزهای پیرسازی مصنوعی را ارائه می‌کند. می‌توان نتیجه گرفت که نتایج آزمایش‌های پیرسازی مصنوعی که در حال حاضر در دسترس هستند، اجازه نمی‌دهد تا یک تعیین میزان قابل قبولی از تخریب کاغذ در شرایط مطلق، و تحقیقات بیش‌تری برای بهبود قابلیت پیش‌بینی چنین آزمایش‌هایی، انجام شود. بسیاری تکنیک‌های استاندارد پیرسازی تسریعی پیشرفته (یعنی TAPPI، ISO و ASTM) وجود دارد که شامل بسیاری تفاوت‌ها در روش‌های خود هستند، علاوه بر این‌ها، بسیاری از نویسندگان نیز تصمیم بر به‌کارگیری شرایط غیراستاندارد می‌کنند.

یک پیچیدگی عوامل وجود دارد در کاغذی که در معرض شرایط پیری قرار می‌گیرد. هنگامی که کاغذ در قفسه کتابخانه‌ها (یعنی کتاب‌ها) است، متفاوت از ورق‌های تک و آزاد، پیر می‌شود. در هر دو شرایط پیری تسریعی و طبیعی، مرکز یک دسته کاغذ، از مناطقی که در نزدیکی بیرون قرار دارند، بیشتر در معرض زوال قرار دارد (Porck and Teygeler 2000). این نتیجه توسط تولید محصولات تخریب در مرکز قفسه کتابخانه توضیح داده شده است. یک نمونه کاغذی برای پایدار در نظر گرفته شدن، باید درجه بالایی از ثبات شیمیایی را نشان دهد، که نشان‌دهنده زوال بسیار آهسته است. به‌خاطر عملکرد پیری عالی خیلی از کاغذهای بسیار قدیمی که با ویژگی‌های مشابه ساخته شده‌اند، در اکثر استانداردها، کاغذ نیاز دارد که قلیایی باشد، حاوی یک ذخیره قلیایی مانند کربنات کلسیم باشد و بیش از ۱٪ محتوای لیگنین نداشته باشد. ASTM International (که پیش‌تر به‌عنوان یک انجمن آمریکایی تست و مواد شناخته می‌شد) در سال ۲۰۰۲ یک برنامه تحقیقاتی پنج‌ساله را در زمینه پیرکردن کاغذهای چاپی و دست‌نویس تکمیل کرد. این تحقیق به‌منظور توسعه روش‌های آزمون پیرسازی تسریعی راه‌اندازی شد که می‌توانست برای پیش‌بینی ثبات چنین کاغذهایی در برابر اثرات پیری طبیعی طولانی‌مدت استفاده شود. به‌منظور دستیابی به یک هدف کلیدی در برنامه، لازم بود نشان داده شود که شیمی و فیزیک تولید شده توسط روش پیشنهادی پیری تسریعی، اساساً همانند آنچه در پیری طبیعی رخ می‌دهد است. این نتیجه نشان داده‌شده در کار، حالا در پنج آزمایشگاه تکمیل شده است. آن‌ها سه روش آزمایشی جداگانه را دنبال کردند. ابزار انتخاب‌شده برای تسریع کردن پیری شامل دمای بالا، شار نوری بالا و غلظت بالای گازهای معمول آلاینده هوا بود (Arnold 2003).

برخلاف آون‌های با تهویه مناسب، پیری مصنوعی در فضاهای محدود، بیشتر شبیه پیری طبیعی کاغذ است. هنگامی که نمونه محدود می‌شود، واکنش، یک مسیر اتوکاتالیتی را دنبال می‌کند (Shahani et al. 2001; Zervos and Moropoulou 2005; Calvini et al. 2008). استاندارد ASTM D6819-02e3 ب رای آزمون پیری تسریعی کاغذ (۲۰۰۲)، استفاده از ویال‌های شیشه‌ای سربسته را به منظور نگهداری محصولات تخریب در تماس با کاغذ توصیه می‌کند، به این ترتیب اجازه شبیه‌سازی بهتر شرایط پیری طبیعی در داخل کتاب‌های بسته را می‌دهد. با این حال، مطالعات سینتیک پیرسازی تسریعی در سیستم‌های بسته و باز که به وسیله اندازه‌گیری‌های DP و شکست طول انجام می‌شود، به طور غیرمنتظره نشان داده است که هیچ اختلاف آماری معنی‌داری از میزان تخریب مشاهده نمی‌شود. از سوی دیگر، شاخص‌های pH و سفیدی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میزان پیری در این سیستم‌ها وجود دارد، که بنابراین فرض اصلی آزمون ASTM در مورد تعامل محصولات تخریب کاغذ با خود کاغذ را تأیید می‌کند (Sawoszczuk et al. 2008).

در یک پروژه که شامل آزمون خواص فیزیکی و شیمیایی شش کاغذ قبل و بعد از پیرسازی مصنوعی است، آزمایش مقایسه‌ای برای مقاومت به تاشدن و pH نمونه‌های کاغذی که به طور طبیعی ۲۷ سال پیر شده‌اند، با نتایج آزمون نمونه‌های کاغذ مشابه پس از ۳ روز پیرسازی مصنوعی در دمای 2 ± 10.5 درجه سانتی‌گراد، انجام شد. نویسندگان دریافتند که فرمول داده شده در TAPPI Test Method T453 (تأثیر حرارت خشک بر روی خواص کاغذ و مقوا)، که به لحاظ نظری برابر با ۲۵ سال پیری طبیعی است، به طور قابل توجهی برای مقاومت به تاشدن نادرست است، و همچنین این که تخریب کاغذ تا حدودی به محیط ذخیره‌سازی آن بستگی دارد (Batterham and Rai 2008).

مقایسه رفتار کاغذ در پیری طبیعی و تسریعی گاهی بحث‌انگیز است. در حالی که در مطالعات مربوط به بهبود شیمیایی کاغذ با پیری، مشخص شد که نمونه‌های کاغذ کهنه پارچه که در معرض پیرسازی تسریعی قرار گرفتند، پروفایل‌های کربونیل قابل مقایسه با مواد طبیعی را نمایش می‌دهند (Potthast et al. 2006)، نویسندگان دیگر ادعا کردند که آزمایش‌های پیری انجام شده بر روی مواد کاغذی در دما و رطوبت بالا، پدیده‌هایی را که در طول پیری طبیعی کاغذ رخ می‌دهد، منعکس نمی‌کند. این نتیجه‌گیری بر اساس تعیین تغییرات در سیستم پیوند هیدروژنی بر روی آزمایش‌های جذب / تخریب، در شرایط مختلف است. شرایطی که معمولاً برای آزمایش‌های پیرسازی استفاده می‌شود باعث تغییرات برگشت‌ناپذیر در سلولز می‌شود که متفاوت از مواردی است که در دمای اتاق در طول پیری طبیعی رخ می‌دهد. به همین دلیل، به جای تکرار تغییرات طبیعی، چنین آزمون‌هایی ممکن است تغییرات مصنوعی را در کاغذ به جای تسریع بخشیدن موارد مشابه نشان دهند. با توجه به نتایج به دست آمده، برای قادر بودن به تسریع روند کلی پیری، عمدتاً ناشی از هیدرولیز، بخار آب خالص بدون اکسیژن در دمای بالا باید به کار رود (Łojewski et al. 2010).

تا زمانی که یک درک کامل از اثرات طول موج و شدت به دست نیاورده شود، روش‌های آزمایشی با استفاده از اشعه UV با شدت بالا و نوردهی شدید در شرایط عدم وجود آزمایش‌های مربوط به قرارگرفتن در معرض شرایط محیطی، قابل اعتماد نیستند. پروتکل‌های پیرسازی تسریعی که از نور پهن باند با شدت بالا و یا هر منبع نوری با مؤلفه UV قوی استفاده می‌کنند، می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای پایداری نوری کاغذهای حاوی خمیر مکانیکی را نادیده بگیرد (McGarry et al. 2004).

زرووس (۲۰۱۰) یک بررسی جامع از این موضوع را ارائه می‌دهد، که در مورد جنبه‌های مختلف پیری طبیعی و تسریعی سلولز و کاغذ، شامل ارتباط پیری طبیعی و تسریعی، شیمی پیری، اثرات پیری بر روی خواص فیزیکو شیمیایی، مکانیکی، نوری و ساختاری سلولز، سینتیک پیری، و روش‌ها و کاربردهای پیری تسریعی بحث می‌کند.

۳-۲- روش‌های متداول برای مطالعه تخریب شیمیایی کاغذ

علاوه بر اسیدیته کاغذ، تخریب می‌تواند توسط برخی از اجزای شیمیایی کاغذ، از جمله یون‌های فلزی، لیگنین، افزودنی‌ها، محصولات تخریب، و اثرات دما، رطوبت، اکسیژن، نور، میکروارگانیسم‌ها و آلاینده‌ها ایجاد شود. بنابراین لازم است مؤلفه‌های مختلف شیمیایی کاغذ، تأثیر آن‌ها در ثبات بلندمدت، میزان تخریب آن‌ها و تأثیر درمان‌های حفاظتی بر روی آن مشخص شود. کتابخانه کنگره به‌تازگی یک کتاب‌شناسی با منابع پس‌زمینه که برای درک خواص فیزیکوشیمیایی کاغذ، روش‌های آزمایش خواص کاغذ و شیمی پایه اسیدزدایی حجیم که مفید هستند، ارائه کرده است (Adams 2011). جزئیات بیش‌تر در مورد این موضوعات در بررسی بتی و همکاران (۲۰۱۰) ارائه شده است.

تجزیه سلولز معمولاً با کاهش درجه پلیمریزاسیون (DP)، با توجه به مکانیزم‌های ضروری تخریب در سلولز، مشخص می‌شود. این وابستگی، با افزایش تعداد دفعات شکست زنجیره، مکانیسم ضروری تخریب سلولز توسط هیدرولیز اسیدی یا اکسیداسیون است. DP، از تغییرات اندازه‌گیری شده ویسکوزیته ذاتی با استفاده از معادله مارک هاوینک می‌تواند تعیین شود (Ding and Wang 2008). ویسکومتری سریع و راحت است و اغلب روش پیشنهادی برای برآورد میانگین درجه پلیمریزاسیون (DP_v) سلولز و مشتقات آن است. ویسکوزیته ذاتی، یک محلول رقیق پلیمری مرتبط با جرم مولی آن است. این رابطه توسط معادله تجربی مارک هاوینک ساکورادا^{۵۵} توصیف می‌شود:

$$[\eta] = K [M_v]^a \quad (1)$$

رابطه بین ویسکوزیته ذاتی $[n]$ و درجه پلیمریزاسیون (DP_v) سلولز در CED به صورت زیر فرموله شده است (Davis 1972):

$$[n] = 0.91 [DP_v]^{0.85} \quad (2)$$

ارزش DP_v به وزن مولکولی میانگین DP_n مرتبط می‌شود توسط،

$$[DP_v] = [DP_n] * [(1+a)\Gamma(1+a)]^{1/a} \quad (3)$$

که a ضریب مارک هاوینک برای سیستم سلولز/ CED است، و $\Gamma(a+1)$ تابع گاما از a است که توسط ارجاع به مقادیر جدولی ارزیابی شده است (Davis 1972).

با وجود مزایای چندگانه کروماتوگرافی انحراف از اندازه (SEC)، که عمدتاً مشخصه توزیع جرم مولار پلیمر است، و تعیین میانگین‌های جرم مولار مختلف، ویسکوزیمتری همچنان به طور گسترده‌ای در تجزیه و تحلیل سلولز مورد استفاده قرار می‌گیرد. SEC همچنین اطلاعاتی در مورد شکست‌های تخریبی ارائه می‌دهد، بنابراین منجر به بینشی در مکانیسم‌های تخریب می‌شود. در SEC، نوع و کیفیت داده‌ها و دقت در تعیین M_r بستگی به حساسیت روش تشخیص دارد (Dupont and Mortha 2004).

تقاضای زیادی برای روش‌های غیر مخرب و میکرو مخرب وجود دارد که قادر به ارزیابی وضعیت کنونی مجموعه‌ها و دوام آن‌ها هستند. تا چند سال پیش، آزمایش مخرب معمول‌ترین روش بود، اما امروزه اثبات شده که روش‌های غیرمخرب هم، مفید هستند. خلاصه‌ای از روش‌های مورد استفاده در تحقیقات مربوط به رویه‌های حفاظت از کاغذ (بیشتر غیر مخرب یا میکرو مخرب) در سال‌های اخیر، در جدول ۱ ارائه شده است.

۳-۳- آزمون مکانیکی

در مطالعه‌ای که خواص مکانیکی نمونه‌های کاغذ اصلی در طی آزمایش‌های پیرسازی تسریعی حرارت خشک و حرارت مرطوب در شرایط مختلف آزمایش مورد بررسی قرار گرفت، مقاومت به تاشدن به عنوان یک ابزار بسیار حساس برای نظارت بر تغییرات در ساختار کاغذ شناخته شده است (Havlinova et al. 2009). با این حال، این یک روش تخریبی است و به نمونه‌ای نسبتاً بزرگ از کاغذ نیاز دارد. خواص مکانیکی کاغذ، نتیجه نه تنها آرایش فضایی الیاف و مواد افزودنی در مواد است، بلکه از ویژگی‌های ذاتی خود الیاف است. به همین دلیل است که امکان فهم تخریب مواد با بررسی مقاومت درونی الیاف وجود دارد. بنابراین، مقاومت کششی طول صفر خشک یا تر می‌تواند به عنوان شاخص مناسب برای قدرت ذاتی الیاف در نظر گرفته شود (Gurnagul and Page 1989; Batchelor 2006; Chamberlain 2007).

جدول ۱. تکنیک‌های مورد استفاده در تحقیقات مرتبط با روش‌های نگهداری کاغذ

تکنیک	ویژگی مورد مطالعه قرار گرفته	منبع
-------	------------------------------	------

نمونه‌برداری منفعل + تجزیه و تحلیل کروماتوگرافی	تخریب از طریق تجزیه و تحلیل VOCs (آلدئیدها)	فنک ^{۵۶} و همکاران ۲۰۱۰
میکرواستخراج فاز جامد (SPME)	تخریب از طریق تجزیه و تحلیل VOCs	پائولیسین ^{۵۷} ۱۹۹۷
میکرو استخراج فاز جامد در ترکیب با طیف‌سنجی جرمی کروماتوگرافی گاز (SPME / GC-MS)	تخریب از طریق تجزیه و تحلیل VOCs	استرلیک و همکاران ۲۰۰۷
میکرواستخراج فاز جامد فضای آزاد در ترکیب با طیف‌سنجی جرمی کروماتوگرافی گاز- HS-SPME / GC-MS (GC-MS)	تخریب از طریق تجزیه و تحلیل VOCs	لاتاتی-دریکس ^{۵۸} و همکاران ۲۰۰۶
سلول انتشار (FLEC)	تخریب از طریق تجزیه و تحلیل VOCs	رومالو ^{۵۹} و همکاران ۲۰۰۹
میکرواستخراج فاز جامد فضای آزاد تماسی (SPME) همراه با کروماتوگرافی گاز / طیف‌سنجی جرمی زمان پرواز (GC-TOF-MS) تجزیه و تحلیل چیرال SPME فضای آزاد تماسی (SPME-c-GC-TOF-MS)	تخریب از طریق تجزیه و تحلیل VOCs	گاسپر ^{۶۰} و همکاران ۲۰۱۰
تجزیه و تحلیل مستقیم در زمان واقعی طیف‌سنجی جرمی (DART-MS)	ترکیبات آلی قطبی کاملاً فرّار، نیمه فرّار و غیر فرّار	آدامز ^{۶۱} ۲۰۱۰
طیف‌سنجی UV / vis	اکسیداسیون سلولز	لوجفسکی ^{۶۲} و همکاران ۲۰۱۰
طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)	(الف) مطالعه کاغذ و فاکسینگ؛ (ب) تعیین تغییرات بلورینگی در اثر پیری؛ (ج) شناسایی محصولات تخریب کاغذ؛ (د) تعیین ویژگی گروه‌ها (کربونیل‌ها، کربوکسیل‌ها، آمین‌ها، پیوستگی‌ها و غیره)؛ (ه)	پرونویچ ^{۶۳} و همکاران ۲۰۰۱ پرونویچ و همکاران ۲۰۰۲ زرووس و موروپولو ۲۰۰۶ کالوینی ^{۶۴} و همکاران ۲۰۰۸ مانسو و کاروالو ۲۰۰۹

Fenech^{۵۶}
Pawliszyn^{۵۷}
Lattuati-Derieux^{۵۸}
Ramalho^{۵۹}
gaspar^{۶۰}
Adams^{۶۱}
Łojewski^{۶۲}
Proniewicz^{۶۳}
Calvini^{۶۴}

	بررسی تأثیر یون‌های آهن و مس در پیری کاغذ؛ (و) مطالعه ترکیب و تخریب کاغذ جدید و تاریخی. شناسایی منشأ الیاف؛ شناسایی ترکیب شیمیایی افزودنی‌ها در کاغذسازی؛ مطالعه فرآیندهای تخریب کاغذ	
طیف‌سنجی رامان	شناسایی پرکننده‌ها در سلولز و تعیین مکانیزم‌های تخریب سلولز	مانسو و کاروالو ۲۰۰۹
(DRIFTS) بازتاب منتشره طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز	اثرات آلاینده‌های جوی بر روی کاغذ	زرووس و موروپولو ۲۰۰۶
FTIR-PAS (طیف‌سنجی فتواکوستیک FTIR)	(الف) مطالعه فتواکسیداسیون سلولز پنبه؛ (ب) تعیین مقدار لیگنین، سلولز و زایلوز؛ (ج) شناسایی مواد افزودنی کاغذ؛ (د) ارزیابی اسیدزدایی و پاکسازی کاغذ	زرووس و موروپولو ۲۰۰۶
ذره‌بینی FTIR(μ FTIR)	توزیع یک ترکیب بر روی سطح کاغذ	زرووس و موروپولو ۲۰۰۶ فوبل ^{۶۵} و همکاران ۲۰۰۷
میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)	(الف) مشاهده تغییرات مورفولوژیکی الیاف کاغذ قدیمی و شکننده؛ (ب) شناسایی قارچ‌ها، اسپور قارچ‌ها و باقیمانده‌ها؛ (ج) شناسایی حشرات، انگل‌ها و تخم‌های آن‌ها	زرووس و موروپولو ۲۰۰۶
SEM در ترکیب با طیف‌سنجی پراکنده انرژی (EDS)	(الف) به دست آوردن اطلاعات شیمی سطح کاغذ، (ب) تعیین منشأ آسیب کاغذ؛ (ج) شناسایی مواد افزودنی و ناخالصی‌ها (د) تعیین الگوی توزیع عامل اسیدزدایی	زرووس و موروپولو ۲۰۰۶

سیستم‌های پراش پرتو- $X\mu$ (XRD)	خصوصیات عنصری	دوران ^{۶۶} و همکاران ۲۰۰۹
فلورسانس انرژی پراکنده پرتو $X(EDXRF)$ ، انتشار ذرات القایی پرتو $X(Pixe)$ ، تجزیه و تحلیل تابش سنکروترون برانگیخته شده با فلورسانس پرتو $X(SRXRF)$ ، فلورسانس طول موج پراکنده پرتو $X(WDXRF)$ ، میکروسکوپ الکترونی روبشی با میکروآنالیز پرتو $X(SEMEDS)$	خصوصیات عنصری	مانسو و کاروالو ۲۰۰۹
طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS)، به‌طور انحصاری همراه با طیف‌سنجی جرمی (ICP-MS)	خصوصیات عنصری	مانسو و کاروالو ۲۰۰۹
تابش سنکروترون القاء شده با فلورسانس میکروپرتو $X(SR-\mu XRF)$	خصوصیات عنصری	فویل و همکاران ۲۰۰۷
طیف‌سنجی فتوالکترون پرتو $X(XPS)$	خصوصیات سطوح پلیمری	مانسو و کاروالو ۲۰۰۹
طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (NMR)	ارزیابی وضعیت حفاظت، اطلاعاتی در مورد برخی از فرآیندهای تخریب ارائه می‌دهد	مانسو و کاروالو ۲۰۰۹
طیف‌سنجی بر پایه لیزر (LIBS)	شناسایی لایه‌های سطح مانند آلاینده‌ها، بستر و رنگدانه‌ها	مانسو و کاروالو ۲۰۰۹
شیمی بلورین	اکسیداسیون	مالزیک ^{۶۷} و همکاران ۲۰۰۲
فلورسانس	بررسی لکه‌های فاکسینگ و خطوط قهوه‌ای در خط تماس خشکی و تری. تعیین مقدار ژلاتین	زرووس و موروپولو ۲۰۰۶
تجزیه و تحلیل مستقیم در طیف‌سنجی جرمی زمان واقعی (DART-MS)	ترکیبات آلی قطبی کاملاً فرار، نیمه فرار و غیر فرار	دوپونت ^{۶۸} و همکاران ۲۰۰۷
الکتروفورز ناحیه کاپیلاری	محصولات تخریب	دوپونت و همکاران ۲۰۰۷ سوفور ^{۶۹} و همکاران ۲۰۰۸

کروماتوگرافی انحراف از اندازه (SEC)	مکانیسم‌های تخریب	دوپونت و همکاران ۲۰۰۲ دوپونت و مورتا ۲۰۰۴ ^{۷۰}
برچسب زدن فلورسانس با تجزیه و تحلیل GPC چند آشکارساز بر طبق روش FDAM و CCOA	پروفایل‌های گروه کربونیل و کربوکسیل	پتاست ^{۷۱} و همکاران ۲۰۰۶ هنیگس ^{۷۲} و همکاران ۲۰۰۶
کروماتوگرافی نفوذ ژل (GPC)	تعیین ساکاریدها	کسیک ^{۷۳} و همکاران ۲۰۰۹
توزین حرارتی (TG)، آنالیز حرارتی تفاضلی (DTA) و گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC)	(الف) مطالعه تجزیه حرارتی سلولز، (ب) ارزیابی ثبات خمیرها و کاغذهای مختلف؛ (ج) مطالعه پیری کاغذ	زرووس و موروپولو ۲۰۰۶
توپوگرافی سه‌بعدی، نقشه‌برداری شیمیایی سطح و دیگر نقشه‌برداری‌های شیمیایی	مشاهده دقیق تر میکروسکوپی سطح کاغذ و شناسایی افزودنی‌ها	زرووس و موروپولو ۲۰۰۶
میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)	تخریب سلولز توسط توپوگرافی سطح	پیانتانیدا ^{۷۴} و همکاران ۲۰۰۵ کولوزا ^{۷۵} و همکاران ۲۰۰۸
طیف‌سنجی IR با تجزیه و تحلیل آماری	تخریب حرارتی	پویکا ^{۷۶} و همکاران ۲۰۰۹

۴- مطالعات مربوط به استفاده از تکنیک‌های غیرتخریبی و یا میکروتخریبی

محققان تکنیک‌های مختلف غیرمخرب یا میکرومخرب را به کار گرفته‌اند، و همچنین آن‌ها را برای تعیین مکانیزم‌های تخریب، ترکیب و خواص کاغذها ترکیب کرده‌اند. بعضی از مثال‌ها در زیر شرح داده شده‌اند.

۴-۱- نمونه‌گیری منفعل

آلدهیدهای فرّار در طی تخریب مواد کاغذی تولید می‌شوند. این ممکن است انباشت آن‌ها را در مخازن آرشیوی و کتابخانه‌ای منجر شود. بنابراین، نمونه‌گیری منفعل می‌تواند به عنوان یک روش غیرمستقیم و غیرمخرب برای تأیید شکل‌گیری VOCs در هنگام تخریب کتاب‌های قدیمی استفاده شود. چنین رویکردی در ده مکان در چهار کتابخانه و آرشیو انجام شده است و به دنبال آن تعیین کروماتوگرافی است. با وجود محل‌های نمونه‌برداری بسیار متغیر، هیچ تفاوت عمده‌ای یافت نشد، هرچند مخازن فیلتر شده هوا دارای غلظت‌های

Mortha^{۷۰}

potthast^{۷۱}

Henniges^{۷۲}

Kacik^{۷۳}

Piantanida^{۷۴}

Coluzza^{۷۵}

Puica^{۷۶}

پایین‌تر بودند، درحالی‌که یک مخزن روزنامه بدون تهویه از بالاترین غلظت آلدئیدهای فرار (فرمالدئید، استالدئید، فورفورال و هگزانال) را نشان می‌داد. همچنین مشخص شد که در داخل مخزن و به‌ویژه در داخل جعبه‌های بایگانی، غلظت VOCs و اسید استیک بسیار بیش‌تر از غلظت آلاینده‌های تولیدشده در فضای باز بود (Fenech et al. 2010).

۴-۲- میکرو استخراج فاز جامد

یک تکنیک غیر مخرب که در سال‌های اخیر برای تجزیه و تحلیل VOCs محبوبیت زیادی به دست آورده است، میکرو استخراج فاز جامد (SPME) است (Pawliszyn 1997). به‌نظر می‌رسد روش میکرواستخراج فاز جامد فضای آزاد (HS-SPME) همراه با کروماتوگرافی گاز / طیف‌سنجی جرمی (GC / MS) نیز یک روش مناسب برای بررسی ترکیبات فرار منتشر شده از کتاب‌های قدیمی است. به‌عنوان مثال، یک HS-SPME / GC / MS بهینه شده برای تجزیه و تحلیل VOCs منتشرشده از یک کتاب خمیر چوب به‌طور طبیعی و مصنوعی، به‌کارگرفته شده است. این روش در ترکیب با پیری تسریعی، تشخیص ویژگی‌های VOC_{۳۶} را قادر می‌سازد (Lattuati-Derieux et al. 2006).

۴-۳- تشخیص ترکیبات ناخوشایند

درحالی‌که تعدادی از VOCs کاغذ در شرایط تخریب طبیعی یا تسریعی منتشر می‌شوند، دو ترکیب به‌عنوان مقدار ناخوشی خاص تأیید شده‌اند: اسیداستیک و فورفورال. یک روش غیر مخرب برای برآورد pH کاغذ تاریخی با استفاده از میکرواستخراج فاز جامد در ترکیب با کروماتوگرافی گاز- طیف‌سنجی جرمی (SPME / GC-MS)، براساس تعیین نیمه-کمی انتشارات فورفورال از کاغذ در طی تخریب، توسعه یافته است. تولید فورفورال عمدتاً به مسیر تخریب بستگی دارد و این به‌نوبه خود بستگی به pH نمونه دارد (Strlič et al 2007). اسیدهای ارگانیک، مانند اسید استیک و اسید فسفریک و آلدئیدها، شامل استالدئید و فرمالدئید، فورفورال و متیل فورفورال، می‌توانند به‌عنوان ترکیبات تخریب کربوهیدرات مربوطه در نظر گرفته شوند، درحالی‌که وانیلین و گویاکول محصولات تجزیه‌شده از لیگنین هستند. تجزیه و تحلیل VOC می‌تواند یک ابزار تشخیصی سریع برای تخریب و شرایط مجموعه‌های شان و همچنین ارزیابی درمان‌های حفاظتی و تجزیه و تحلیل مواد باشد. با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌های چند متغیره، محصولات تخریب فرار با خواص مهم برای حفظ کاغذ، شامل محتوای کلوفان، لیگنین و کربونیل، درجه پلیمریزاسیون سلولز و اسیدیته کاغذ، به‌طور کمی مرتبط می‌شوند (Strlič et al 2007).

انتشار VOCs از کاغذهای مدل پیرسازی شده در لوله‌های در بسته برای دوره‌های مختلف زمانی نیز با استفاده از یک سلول انتشاری (FLEC) مستقر روی سطح کاغذ اندازه‌گیری شد (Ramalho et al. 2009).

۴-۴- تجزیه و تحلیل فضای آزاد

کتاب‌های قدیمی تاریخی که از کهنه پارچه پنبه‌ای / کتان و کاغذ خمیر چوب ساخته شده‌اند، با استفاده از روش SPME-GC-TOF-MS، غیر تخریبی و غیرتهاجمی فضای آزاد تماسی، بر اساس پیری طبیعی و تخریب تسریعی تجزیه و تحلیل شده‌اند. به نظر می‌رسد که میکرواستخراج فاز جامد فضای آزاد تماسی (SPME) همراه با کروماتوگرافی گاز / طیف‌سنجی جرمی زمان پرواز (GC-TOF-MS) یک روش قادر به نظارت بر پروفایل‌های پیری / تخریب و شناسایی هیدروکربن‌ها، آلدئیدها، ۲-فورفورال و اسیدهای کربوکسیلیک با توانایی سنجش وضعیت کاغذ باشد. علاوه بر این، یک ابزار تحلیلی جدید، تجزیه و تحلیل چیرال SPME فضای آزاد تماسی (SPME-c-GC-TOF-MS) به عنوان یک روش تجزیه و تحلیل برای پیشبرد فهم پیری، تخریب و حفاظت کاغذ با استفاده از انتشار VOC مورد استفاده قرار گرفته است (Gaspar et al 2010).

۴-۵- DART-MS

تجزیه و تحلیل مستقیم در طیف‌سنج جرمی در زمان واقعی (DART-MS) یک روش MS نسبتاً جدید است که به طور مستقیم و سریع، ترکیبات آلی قطبی کاملاً فرار، نیمه فرار و غیر فرار را در یک تنوعی از ماتریس‌ها بدون استخراج‌ها، مشتق‌شدن‌ها و جداسازی‌های کروماتوگرافی، تشخیص می‌دهد. نمونه‌های میکرو حداقل ۱۰ میکروگرمی ممکن است تشخیص داده شوند، به این معنی که این روش می‌تواند برای تجزیه و تحلیل قطعات کوچک کاغذ استفاده شود. کاغذهای چاپی و دست‌نویس با استفاده از یون مثبت DART-MS مشخص شده است (Adams 2010).

۴-۶- FTIR و UV / vis

گروه‌های کتونی درهم‌آمیخته با حالت‌های ارتعاشی حدود 1610 cm^{-1} به کروموفورهایی که در محدوده بین ۲۳۰ و ۴۴۰ نانومتر تشخیص داده شدند، توسط طیف‌سنجی UV / vis در طی تخریب اکسیداتیو سلولز مربوط شده‌اند. همبستگی‌های UV / vis و FTIR همراه با توزیع بار تئوری، امکان‌پذیری مکانیسم شکاف پیوند گلیکوزیدی اکسیداتیو را توجیه می‌کند. نتایج به دست آمده، از فرضیه اکسیداسیون متوسط سلولز در محیط مرطوب (RH٪۵۹) در ۹۰ درجه سانتی‌گراد، حمایت می‌کند که عمدتاً به دی‌کتون‌های درهم‌آمیخته منتهی می‌شود. علاوه بر این نشان داده شده است که در شرایط پیشرفته‌تر تخریب، اکسیداسیون با شدت کمتر از طریق آلدئیدها به کربوکسیل‌ها، ادامه می‌یابد. نویسندگان این فرضیه را پیشنهاد کردند که تغییر در هیبریداسیون اتم‌های کربن (2) C و (3) C (از sp^3 به sp^2) همراه با انتقال بار از گروه‌های کتونی به انولی باعث ایجاد شکاف گلیکوزیدی می‌شود (Łojewski et al 2010).

تجزیه و تحلیل تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) کاغذهای سلولزی بیست سال پیش، آغشته شده با محلول‌های به ترتیب $FeCl_3$ و $CuCl_2$ و نگهداری آن‌ها در کیسه‌های پلی‌پروپیلن در تاریکی، نشان داده است که

نمونه‌های تحت درمان با آهن، بسیار هیدرولیز و اکسید شده‌اند، درحالی‌که نمونه‌های تحت درمان با مس تنها تا حدودی هیدرولیز شده و کمی اکسید شده است (Calvini et al 2008). این مشاهدات با شرح فوق در ارتباط با یون‌های آهن موافق است.

هیدرولیز اسیدی سلولز خالص از چوب نرم سفیدکاری شده سولفیتی و لینترهای پنبه‌ای باعث تغییرات در پیوندهای هیدروژن می‌شود که بر ارتعاشات خمشی HCH و OCH ، COH ، CCH تأثیر می‌گذارند که توسط FTIR و FTIR-Raman مورد بررسی قرار گرفت (Proniewicz et al. 2001). یک نمونه از یک کاغذ اسیدی حاوی خمیر چوب (۷۵٪ خمیر چوب و ۲۵٪ خمیر چوب نرم سفیدکاری شده سولفیتی، پرکننده‌ها ۲۰٪ کائولن (w / w) و آهار زاج-کلوفان)، درمان شده تحت شرایط مشابه (۲۱ روز، رطوبت ۱۰۰٪، ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد)، به‌طور عمده با ظهور گونه‌های جدید کربونیل و همچنین بازسازی شبکه‌های ارتباطی هیدروژن موجود همراه است. در این شرایط، کاغذ تحت فرایند اکسیداسیون قرار می‌گیرد که در آن حداقل سه گونه جدید کربونیل می‌توانند مشخص شوند (Proniewicz et al. 2002).

با توسعه و کاربرد یک ترکیب جدید از روش‌های تحلیلی غیرمخرب مبتنی بر تابش سنکروترون القاء شده با فلورسانس میکرو پرتو X (SR- μ XRF) و میکروسکوپ تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) سعی شده است تا حالت و همچنین اثربخشی روش‌های حفاظت از نسخه‌های خطی تاریخی را مورد بررسی قرار دهند (Fauble et al. 2007). با همان رویکرد، دو سیستم آزمایشگاهی پراش پرتو X (XRD) اخیراً توسعه یافته، سیستم‌های قابل حمل μ -XRD و XRD برای بررسی نسخه‌های خطی عربی مورد آزمایش قرار گرفتند. با استفاده از این تکنیک‌های غیر مخرب، حضور کلسیت و روتیل^{۷۷}؛ همچنین، هماتیت، گوتیت^{۷۸}، سینابار، برنج^{۷۹}، آنتاز و باریت در رنگ‌های مختلف تشخیص داده شده‌اند (Duran et al. 2009). فلورسانس اشعه ایکس (XRF) در حال حاضر یک روش استاندارد در صنعت کاغذ است که برای تعیین غلظت اکسید، ضخامت پوشش و ترکیب و سایر مواد شیمیایی مهم کاغذ استفاده می‌شود.

۴-۶- شیمی بلورین^{۸۰}

شیمی بلورین، انتشار نور با انتشار محدود حرارت، به‌عنوان یک نتیجه از واکنش شیمیایی است. این تکنیک برای مطالعه اکسیداسیون سلولز (Strlič and Kolar 2005; Rychlý et al. 2006; Kocar et al. 2008)، کاغذهای حاوی لیگنین (Rychli 2005) و همی سلولز (Matisovarychla et al. 2008) مورد استفاده قرار گرفته است.

Rutile^{۷۷}
Goethite^{۷۸}
Brass^{۷۹}
Chemiluminescence^{۸۰}

برای بررسی نقش فلزات واسطه در تخریب اکسیداتیو سلولز، آزمایش‌های تخریب با کاغذهای مدل و مطالعات تولید رادیکال هیدروکسیل در محلول با Zn و Ni ، Cr ، Co ، Mn ، Cu ، Fe انجام شده است. نتایج به‌وسیله DP و شیمی بلورین مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمایش‌های با شواهد قوی نشان می‌دهد که نقش فلزات واسطه، در هنگام تخریب اکسیداتیو سلولز، کاتالیزوری است. یک همبستگی بین رفتار فلزات واسطه در محلول و در کاغذ، در مقادیر کم فلزات واسطه در کاغذ ایجاد شده است (Selih et al 2007).

۴-۷- الکتروفورز ناحیه کاپیلاری

الکتروفورز ناحیه کاپیلاری با تشخیص مستقیم و غیرمستقیم UV برای توصیف چند کلاس از محصولات تخریب (اسیدهای ارگانیک با جرم کم مولار، مشتقات لیگنین آروماتیک و کربوهیدرات‌های ساده) کتاب‌های قدیمی استفاده شده است. در این مورد، ترکیبات موجود در کتاب‌ها و در مدل کاغذ پس از پیری تسریعی، همانند آنچه که در طول عمر آن‌ها از طریق پیری طبیعی ایجاد می‌شود، بود. مقادیر قابل توجه اسید وانیلیک و مقدار زیادی از آروبینوز در کاغذهای لیگنوسلولزی پیدا شده است، درحالی‌که یک حضور قابل توجهی از گلوکز در کاغذهای سلولز خالص یافت شده است، و اسیدهای ارگانیک با جرم کم مولار در تمام کاغذها یافت شده است، مانند آن‌هایی که از تخریب هر دو سلولز و همی سلولز به‌وجود آمدند (Dupont et al 2007).

اخیراً یک مطالعه بنیادی با استفاده از الکتروفورز ناحیه کاپیلاری با تشخیص غیرمستقیم UV نشان داد که یک تخریب خاص در کاغذ ممکن رخ دهد، که موجب افزایش تولید اسیدهای ارگانیک و هیدروپراکسیدها می‌شود. مهم‌تر از آن، نشان داده شده است که کاغذی که جابه‌جایی آب را متحمل شده است، به تخریب حساس‌تر است. این تحقیق بینش عمیق‌تری در روند تخریب سلولز به‌وسیله اکسیداسیون طبیعی به ارمغان آورده است. این شکل‌گیری خطوط قهوه‌ای در کاغذ در خط اتصال خشکی و تری در لایه سلولزی در چندین کاغذ برای مدت‌زمان طولانی توصیف شده است (Souguir et al. 2008).

۴-۸- ویسکومتری

ویسکوزیمتری کلاسیک، هرچند مخرب، به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک روش برای تعیین مکانیزم تخریب سلولز به‌کار می‌رود، زیرا نیازی به تجهیزات پیچیده‌ای ندارد. برای مثال، اثر گروه‌های کربونیل بر پایداری سلولز، با بررسی رفتار پیری هفت خمیر سلولزی مختلف اسیدزدایی شده با استفاده از بی‌کربنات کلسیم یا منیزیم، تعیین شد. ارتباط خطی بین میزان کربونیل و تخریب خمیر سلولز طی هفت روز از پیری تسریعی به‌دست آمد. اکسیداسیون پایانه احیاکننده واحدهای سلولز با اکسیژن مولکولی در واسطه قلیایی، عمدتاً به اسید آلدونیک و فرمیت پست‌تر بعدی منجر می‌شود، احتمالاً از طریق یونیزاسیون آنیدیول^{۸۱} حد واسطه، که ممکن است دلالت بر وابستگی به pH واکنش، داشته باشد. در طول دوره واکنش، سوپراکسید ($\text{O}^{\cdot-}$) تشکیل شده است.

اگرچه اعتقاد بر این است که O^- قادر به استخراج اتم هیدروژن از گلوکز نیست، اما تحت عدم تقارن ممکن است، و بنابراین شکل‌گیری هیدروپراکسیدها ممکن است منجر به تشکیل رادیکال هیدروکسیل شوند (Malesic et al. 2002).

۴-۹- کروماتوگرافی انحراف از اندازه

در مطالعات تخریب پلیمر، کروماتوگرافی انحراف از اندازه (SEC) به عنوان یک روش تحلیلی انتخابی در نظر گرفته شده است، هنگامی که تأثیرات نامحسوس باید پیگیری شود و تنها مقادیر کمی از نمونه‌ها در دسترس باشد. از آنجاکه SEC اطلاعات جامعی در مورد هر دو مقدار مستقیم و توزیع جرم مولکولی را ارائه می‌کند، به طور ویژه در حل و فصل سینتک‌های تخریب کاغذ مؤثر است. SEC سلولز برای نشان دادن این که یک عامل شیمیایی می‌تواند این ماکرومولکول را جدا کند یا برای نشان دادن این که آیا عوامل خنثی‌کننده ماکرومولکول را از شکست زنجیره محافظت می‌کنند، بسیار کارآمد است (Dupont et al. 2002). همراه با اندازه‌گیری‌های ویسکوزیمتری درجه پلیمریزاسیون، SEC به ویژه در ردیابی پیشرفت هیدرولیز در هنگام تخریب کاغذ مؤثر است، هرچند، برای کاغذهای حاوی لیگنین که برای ویسکوزیمتری ناموفق است، SEC تبدیل به تنها روش موجود می‌شود (Lojewski et al. 2010).

برخی از دلایل اصلی تشکیل گروه‌های کربونیل و کربوکسیل در الیاف سلولز، روش‌های جداسازی و خالص سازی در فرایند ساخت کاغذ، در کنار پیری طبیعی است. این به ویژه برای خمیرهای چوب سلولزی، که چندین مرحله پردازش می‌شوند تا لیگنین، همی سلولز و مواد استخراجی آن خارج شود، اعمال می‌شود. پروفایل‌های کربونیل و کربوکسیل با استفاده از یک روش ترکیبی فلورسانس گروه انتخابی برچسب گذاری شده با تجزیه و تحلیل GPC چند آشکارساز بر طبق CCOA (کاربازول-۹-کربوکسیلیک اسید [۲-۲]-آمینوکسی-اتوکسی) [آمید] و FDAM (۹H-فلورن-۲-yl-دiazومتان) به ترتیب، مورد مطالعه قرار گرفتند. در کاغذ پارچه کهنه به طور طبیعی پیر شده، نمونه‌ها مقدار نسبتاً بالایی از گروه‌های کربونیل را نشان می‌دهند. از مقدار کاهش پایانی، همان طور که از M_n تخمین زده شده، محاسبه شده است که مقدار عملکردهای کتونی، که مربوط به فرآیندهای اکسیداتیو است، حدود ۵۰٪ کل کربونیل‌ها بوده، در حالی که نیمه باقی مانده به کاهش پایانی نسبت داده شده که به طور طبیعی حضور دارند یا از هیدرولیز حاصل می‌شوند. نمونه‌های کاغذ پارچه کهنه آزمایش شده با پیری تسریعی، پروفایل‌های کربونیلی را نشان می‌دهند که قابل مقایسه با مواد به طور طبیعی پیر شده است. نتایج نشان داد که در طول پیری طبیعی، اکسیداسیون به طور عمده در منطقه MW پایین رخ داده است. تخریب پیش‌رونده کاغذ پارچه کهنه، مقادیر بالایی از مواد اسیدی با وزن مولکولی کم را تولید کرده و در نتیجه مقدار کربوکسیل‌ها را در این منطقه افزایش می‌دهد (Potthast et al. 2006).

یک مطالعه پیری تسریعی کاغذ روزنامه با دمای ۹۸ درجه سانتی‌گراد طی ۶۰ روز انجام شده است. تجزیه و تحلیل توسط ویسکومتری، کروماتوگرافی نفوذپذیری ژل (GPC) و تعیین ساکاریدها مورد بررسی قرار گرفت. نویسندگان دریافتند که در مراحل اولیه پیری تسریعی، کاهش DP سریع است و تخریب همگن انجام می‌شود (هیدرولیز یک فرایند غالب است). بعدها، کاهش DP آرام‌تر است و دیگر انواع واکنش‌ها (اکسیداسیون، اتصالات عرضی) اتفاق می‌افتد. مقدار ساکارید در کاغذ کاهش می‌یابد و همی سلولز سریع‌تر از سلولز تخریب می‌شود. نسبت همی سلولز به گلوکز به‌طور خطی کاهش می‌یابد (Kacik et al. 2009).

۴-۱۰- تجزیه و تحلیل حرارتی

تجزیه و تحلیل حرارتی و به‌ویژه TGA، امکان کنترل میزان تخریب کاغذ را فراهم می‌کند، زیرا یک تحقیق کامل مربوط به رفتار حرارتی کاغذ و تأثیر عوامل تخریب‌کننده اصلی (نور، حرارت، اکسیژن و آنزیم‌ها) بر روی آن را انجام می‌دهد. در مطالعه‌ای پیرامون پایداری حرارتی کاغذ و اجزای آن (Princi et al. 2008)، برای ارزیابی اثر درمان‌های هوای مصنوعی، مشاهدات TGA و SEM برای پیروی از پدیده‌های تجزیه‌شده انجام شده است. کاغذهای مختلف از قبیل کاغذ فیلتر (واتمن)، روزنامه و کاغذهای مقوایی مورد بررسی قرار گرفتند. منحنی‌های TGA نمونه‌های هوادهی شده تغییرات را نسبت به مواد اولیه نشان می‌دهد؛ به‌طور خاص، اکسیداسیون شیمیایی به‌عنوان اقدامات تخریبی نسبت به سایر روش‌های فیزیکی به‌نظر می‌رسد (Princi et al. 2008).

۴-۱۱- میکروسکوپ نیروی اتمی

میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) برای توصیف رابطه بین توپوگرافی سطح و الگوهای تخریب سلولز استفاده شده است. این یک ابزار برای مطالعه تخریب‌های فیبر است، از آنجاکه آن‌ها بر روی سطح کاغذ ظاهر می‌شوند، که در اواسط دوره، باهدف، ارزیابی یک تکنیک میکروتخریبی قادر به ارائه اطلاعات کیفی و نیمه‌کمی درباره زوال و پیری است. AFM به تخریب حساس است و بینش جدیدی را در مورد رفتار مورفولوژیکی سلولز، به‌عنوان مثال در سطح الیاف پنبه در طی تخریب، ارائه می‌دهد. علاوه بر این، حتی اگر AFM برای تعیین ماهیت فرایند در جزئیات، به‌اندازه‌ای که ارزیابی مخرب می‌تواند ارائه کند، کافی نیست، اما اجازه می‌دهد تا تمایز کمی میکرومخریبی بین مرحله اولیه و نهایی ایجاد شود (Piantanida et al. 2005; Coluzza et al. 2005).

۴-۱۲- استفاده از آمار

برخی از پیشرفت‌ها در کشف مکانیزم‌های پیچیده تخریب حرارتی سلولز پیر شده، با ترکیب داده‌های آزمایشگاهی طیف‌سنجی IR با تجزیه و تحلیل آماری، انجام شده است. پردازش آماری نتایج آزمایشگاهی، ایجاد برخی از مدل‌های رگرسیون قابل قبول را ممکن می‌سازد که وابستگی بین نیمه‌عمر و دما را توصیف می‌کنند که در پشتیبانی کاغذ حفظ می‌شود (Puica et al. 2009).

۴-۱۳- تجزیه و تحلیل فلزات غیرمخرب

سایر روش‌های تحلیلی برای نمونه‌های کوچک و غیر مخرب فلزات در کاغذ و مرکب به تفصیل در استرلیک و همکاران (۲۰۰۶) در دسترس است.

۴-۱۴- کاربردهای قانونی

تجزیه و تحلیل شیمیایی ابزار به تازگی یک زمینه بسیار جالب از بهره‌برداری در کاربردهای قانونی مربوط به کاغذ را پیدا کرده است. به عنوان مثال، طیف‌سنجی مادون قرمز و پراش اشعه X زاویه گسترده (WAXD) به عنوان تکنیک‌های غیرمخرب برای تمیز نمونه‌های کاغذی در کاربردهای قانونی استفاده شده است. تمام نمونه‌هایی که از یک جمعیت ۱۹ کاغذی خارج شدند، که توسط آزمایش بصری غیرقابل تشخیص بودند، تمیز داده شدند. این دو تکنیک امکان شناسایی تغییرات در ساختار را به وسیله پارامترهای پردازش مختلف، شرایط تولید و فرمولاسیون مواد افزودنی فراهم می‌کند (Causin et al. 2010).

۴-۱۵- پیشرفت روش‌های تحلیلی

در میان دیگران، ICPMS، XRF، LA-ICPMS، IRMS، LA-ICP-TOF-MS، فلورسانس پرتو X، تجزیه و تحلیل مستقیم در زمان واقعی MS یونیزاسیون تخریب لیزر (DART)MS، ESI-MS، اسپکتروفتومتری UV / Vis، LDI-MS، CE همراه با یک آرایش دیود، طیف‌سنجی جرمی یونیزاسیون اسپری صوتی محیطی آسان (EASI-MS)، پیرولیز GC / MS، GC / MS و میکرواسپکتروفتومتری، رامان و SERS، LDI-MS، بازتابی کلی میکروضعیف شده FT-IR، TOF-SIMS، تکنیک‌های تجزیه و تحلیل میکرواسپکتروشیمیایی LA-ICPMS و LIBS، LA-ICPMS، TXRF و طیف‌سنجی جذب اتمی کوره گرافیت (GFAAS) برای این منظور استفاده شده‌اند و می‌توانند نمونه‌های خوبی برای اهداف حفاظت باشند. بررسی کامل روش‌های تحلیلی مدرن برای مطالعه جنبه‌های مختلف کاغذ و مرکب برای کاربردهای قانونی در برتل^{۸۲} و همکاران (۲۰۱۱) ارائه شده است. متأسفانه، روش‌های آزمون فیزیکی، میزان نوآوری یکسانی را ندارند. بیش‌تر تکنیک‌ها مخرب هستند و نیاز به نمونه‌های بزرگ دارند. تنها آزمون اولتراسونیک به عنوان تعیین‌کننده غیر مخرب خواص سختی کشش الیاف مورد استفاده قرار گرفته است (Mark et al. 2001; Knutson et al 2007).

۵- نتیجه‌گیری

حتی اگر واکنش‌های اصلی شیمیایی که در کاغذ اتفاق می‌افتد، به طور عمده بر روی سلولز و سایر پلی ساکاریدها تأثیر بگذارد، این بررسی نشان می‌دهد که بسیاری از تجزیه و تحلیل‌های مفید وجود دارد که بعضی

از آن‌ها اخیراً توسعه یافته است، که می‌تواند دانش ما را در مورد تغییرات شیمیایی که در کاغذ در طول پیری اتفاق می‌افتد، ارتقاء دهد. تا چند سال پیش، نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل با تکنیک‌های مخرب معمول‌ترین روش بود، اما امروزه تکنیک‌های تحلیلی غیر مخرب نیز مفید است. علاوه بر این، روشن است که ترکیبی از چند تکنیک می‌تواند اطلاعات مهمی را به‌ارمغان آورد. باین‌حال، ابزارهای بسیار پیچیده‌ای که استفاده می‌شوند، اغلب بسیار گران هستند و در همه آزمایشگاه‌ها در دسترس نیستند، به‌همین دلیل، برخی از تکنیک‌های تخریبی کلاسیک هنوز معتبر هستند. در مقابل، هیچ گزینه‌ای برای جایگزینی تست‌های مکانیکی که مخرب هستند و نیازمند نمونه‌های بزرگی هستند ظاهر نشده‌است، و هنوز در این ناحیه انجام می‌شود. این ناحیه‌ای است که روش‌های آماری کلاسیک و تجزیه و تحلیل چندمحیطی می‌تواند کمک کند. تقاضای زیادی برای روش‌های تجزیه و تحلیل و فیزیکی غیرمخرب یا میکرومخرب وجود دارد که قادر به ارزیابی وضعیت کنونی مجموعه‌ها و دوام مورد نظر آن‌ها هستند. متخصصان حفاظت نیاز به درک عمیق‌تر نسبت به رابطه بین کتاب‌ها و اسناد پیر شده در طول تکامل شیمیایی آن‌ها با پیری و خواص مکانیکی حامی کاغذ دارند. باوجود بسیاری از آثار موجود اخیر که در مورد پیری تسریعی کاغذ هستند، یک ارتباط شفاف متقابل میان پیری مصنوعی و طبیعی هنوز گم است و این نکته یک اهمیت ویژه برای افرادی است که در حفاظت کار می‌کنند.

منابع

- Adams, J. (2010). "Analysis of printing and writing papers by using direct analysis in real time mass spectrometry," *International Journal of Mass Spectrometry* 30(1-3), 109-126.
- Adams, J. (2011). "Mass deacidification annotated bibliography 1990-2010," Library of Congress Preservation Directorate. 1-76. www.loc.gov/preservation/resources/deacid/deacid_bib2011.pdf (accessed 26 Aug 2011).
- Arnold, R. B. (2003). "ASTM's paper aging research program," <http://cool-palimpsest.stanford.edu/byauth/arnold/astm-aging-research/> (accessed 06 Dec 2010).
- Arnold, R. B. (1998). "Predicting printing paper life expectancy," TAPPI 1998 Process & Product Quality Conference, Milwaukee, Wisconsin, October 16-23.
- Atalla, R. H. (1999). "3.16. Celluloses," In: Volume 3: Carbohydrates and their Derivatives Including Tannins, Cellulose, and Related Lignins, B. Mario Pinto, Volume Editor, Comprehensive Natural Products Chemistry, Sir Derek Barton, Koji Nakanishi, and Otto Meth-Cohn (eds.), Elsevier.
- Azuma, J. (1989). "Analysis of lignin-carbohydrate complexes of plant cell walls," in: H. F. Linskens and J. F. Jackson (eds.), *Modern Methods of Plant Analysis*, Springer, New York, London, Paris, Tokyo, 100-126.
- Bankole, O. M. (2010). "A review of biological deterioration of library materials and possible control strategies in the tropics," *Library Review* 59(6) 414-429.
- Batchelor, W. (2006). "The zero-span test-what are we measuring?" *Euromech Colloquium 486 Deformation and Fracture Processes in Paper and Wood Materials*, Sweden, 2-15 June.
- Batchelor, W. J., Westerlind, B. S., Hagglund, R., and Gradin, P. (2006). "Effect of test conditions on measured loads and displacements in zero span testing," *Tappi J.* 5(10), 3-8.
- Batterham, I., and Rai, R. (2008). "A comparison of artificial aging with 27 years of natural aging," 2008 AICCM Book, Paper and Photographic Materials Symposium, 81-89.
- Baty, J. W., Maitland, C. L., Minter, W., Hubbe, M. A., and Jordan-Mowery, S. K. (2010). "Deacidification for the conservation and preservation of paper-based works: A review," *BioResources* 5(3), 1955-2023.
- Botti, L., Mantovani, O., Orrù, M. A., and Ruggiero, D. (2006). "The effect of sodium and calcium ions in the deacidification of paper: A chemo-physical study using thermal analysis," *Restaurator* 27(1), 9-23.
- Brettell, T. A., Butler, J. M., and Almirall, J. R. (2011). "Forensic science," *Analytical Chemistry* 83(12), 4539-4556.
- Browning, B. L. (1977). *Analysis of Paper*, 2nd Ed., Marcel Dekker, New York, USA.
- Bukovský, V. (2000). "The influence of light on ageing of newsprint paper," *Restaurator* 21, 55-76.
- Bukovský, V., and Trnková, M. (2003). "The influence of secondary chromophores on the light induced oxidation of paper. Part II: The influence of light on groundwood paper," *Restaurator* 24, 118-132.

- Calvini, P., and Gorassini, A. (2006). "On the rate of paper degradation: Lessons from the past," *Restaurator* 27, 275-290.
- Calvini, P., and Silveira, M. (2008). "FTIR analysis of naturally aged FeCl_3 and CuCl_2 -doped cellulose papers," *E-Preservation Science* 5, 1-6.
- Calvini, P., Gorassini, A., and Merlani, L. (2008). "On the kinetics of cellulose degradation: Looking beyond the pseudo order rate equation," *Cellulose* 15, 193-203.
- Calvo, A. M., Alfaro, L. S., Miranda, M., Felissia, F., and Area, M. C. (2010). "Propiedades del papel de celulosa pura irradiado y envejecido," XXXVII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. 22 - 26 november.
- Causin, V., Marega, C., Marigo, A., Casamassima, R., Peluso, G., and Ripani, L. (2010). "Forensic differentiation of paper by X-ray diffraction and infrared spectroscopy," *Forensic Science International* 197(1-3), 70-74.
- Chamberlain, D. (2007). "Anion mediation of aluminium-catalysed degradation of paper," *Polymer Degradation and Stability* 92, 1417-1420.
- Coluzza, C., Bicchieri, M., Monti, M., Piantanida, G., and Sodo, A. (2008). "Atomic force microscopy application for degradation diagnostics in library heritage," *Surface and Interface Analysis* 40(9), 1248-1253.
- Cunha, G. M. (1988). "Methods of evaluation to determine the preservation needs in libraries and archives: A RAMP study with guidelines," UNESCO, Paris.
- D'Almeida, M. L. O., Barbosa, P. D. S. M., Boaratti, M. F. G., and Borrelly, S. I. (2009). "Radiation effects on the integrity of paper," *Radiation Physics and Chemistry*, 78(7-8), 489-492.
- Dasilva, M., Moraes, A., Nishikawa, M., Gatti, M., Vallimdealencar, M., Brandao, L., and Nobrega, A. (2006). "Inactivation of fungi from deteriorated paper materials by radiation," *International Biodeterioration & Biodegradation* 57(3), 163-167.
- Davis, P. J. (1972). "Gamma function and related function," In: Abramowitz, M., and Stegun, I. A. (eds.), *Handbook of Mathematical Functions*, National Bureau of Standards, Washington, DC, pp. 253-294.
- Ding, H.-Z., and Wang, Z. D. (2008). "On the degradation evolution equations of cellulose," *Cellulose* 15, 205-224.
- Dupont, A.-L., and Mortha, G. (2004). "Comparative evaluation of size-exclusion chromatography and viscometry for the characterisation of cellulose," *Journal of Chromatography A* 1026, 129-141.
- Dupont, A.-L., Egasse, C., Morin, A., and Vasseur, F. (2007). "Comprehensive characterization of cellulose- and lignocelluloses degradation products in aged papers: Capillary zone electrophoresis of low-molar mass organic acids, carbohydrates, and aromatic lignin derivatives," *Carbohydrate Polymers* 68, 1-16.
- Dupont, A.-L., Barthez, J., Jerosch, H., and Lavédrine, B. (2002). "Testing CSC Book Saver®, a commercial deacidification spray," *Restaurator* 23(1) 39-47.
- Duran, A., Perez-Rodriguez, J. L., Espejo, T., Franquelo, M. L., Castaing, J., and Walter, P. (2009). "Characterization of illuminated manuscripts by laboratory-made portable XRD and micro-XRD systems," *Anal Bioanal Chem* 395, 1997-2004.

- Ebringerová, A., and Heinze, T. (2000). "Xylan and xylan derivatives-biopolymers with valuable properties 1. Naturally occurring xylans, structures, isolation procedures and properties," *Macromolecular Rapid Communications* 21, 542-556.
- Evans, R., and Wallis, A. F. A. (1989). "Cellulose molecular weights-determined by viscometry," *J. Appl. Polym. Sci.* 37(8) 2331-2340.
- Faubel, W., Staub, S., Simon, R., Heissler S., Pataki, A., and Banik, G. (2007). "Non-destructive analysis for the investigation of decomposition phenomena of historical manuscripts and prints," *Spectrochimica Acta Part B*, 62, 669-676.
- Feather, J. (ed.) (2004). *Managing Preservation for Libraries and Archives: Current Practice and Future Developments*, Aldershot, Hants: Ashgate, 181 pp.
- Feller, R. L, and Marina del Rey, C. A. (1994). *Accelerated Aging: Photochemical and Thermal Aspects*. Getty Conservation Institute, xiv, 275 pp. ISBN 0892361255.
- Fenech, A., Strli, M., Kralj Cigi, I., Levart, A., Gibson, L.T., de Bruin, G., Ntanos, K., Kolar, J., and Cassar M. (2010). "Volatile aldehydes in libraries and archives," *Atmospheric Environment* 44, 2067-2073.
- Fengel, D., and Wegener, G. (1989). *Wood - Chemistry, Ultrastructure, Reactions*, Walter de Gruyter, Berlin.
- Gaspar, E. M., Santana, J. C., Lopes, J. F., and Diniz, M. B. (2010). "Volatile organic compounds in paper - An approach for identification of markers in aged books," *Anal. Bioanal. Chem.* 397, 369-380.
- Gehlen, M. H. (2009). "Approximate solution of the autocatalytic hydrolysis of cellulose," *Cellulose* 16, 1069-1073.
- Glasser, W. G., Jain, R. K., and Sjöstedt, M. A. (1995). "Thermoplastic pentosan- rich polysaccharides from biomass," *United States Patent* 543014.
- Golova, O. P., and Nosova, N. I. (1973). "Degradation of cellulose by alkaline oxidation," *Russian Chemical Reviews* 42(4), 327-338.
- Gurnagul, N., Howard, R. C., Zou, X., Uesaka, T., and Page, D. H. (1993). "The mechanical permanence of paper: A literature review," *Journal of Pulp and Paper Science* 19(4), J160-J166.
- Grosjean, D., Van Neste, A., Williams II, E., Druzik, J., Hansen, E., and Blyth-Hill, V. (2010). "1.14 Study of the effects of sulfurdioxide and nitrogen dioxide on deacidified papers - Part 2," In *Pollutants in the Museum Environment (1985-1998)* <http://www.getty.edu/conservation/science/abstracts/1.14.html> (accessed 06 Dec 2010).
- Gurnagul, N., and Zou, X. (1994). "The effect of atmospheric pollutants on paper permanence: A literature review," *Tappi J.* 77, 199-204.
- Gurnagul, N., and Page, D. H. (1989). "The difference between dry and rewetted zero-span tensile strength of paper," *Tappi J.* 72(12) 164-167.
- Hartley, R. D., and Ford, C. W. (1989). "Phenolic constituents of plant cell walls and wall biodegradability," *ACS Symp. Ser.*, 399, 137.
- Havermans, J. (2002). "The impact of European research on paper aging and preventive conservation strategies," 5th European Commission Conference on Research for Protection, Conservation and Enhancement of

- Cultural Heritage, Cracow, Poland, 16-18 May. www.heritage.xtd.pl/conference_report/havermans.html (accessed 06 Dec 2010).
- Havermans, J. (1994). "The effect of air pollutants on the accelerated aging of cellulose containing materials – Paper," EC/DGXII/STEP - CT 90-0100 Delft TNO Institute of Industrial Research, Paper Production Technology.
 - Havlinova, B., Katuscak, S., Petrovicova, M., Makova, A., and Brezova, V. (2009). "A study of mechanical properties of papers exposed to various methods of accelerated aging. Part I. The effect of heat and humidity on original wood-pulp papers," *Journal of Cultural Heritage* 10(2), 222-231.
 - Henniges, U., Prohaska, T., Banik, G., and Potthast, A. (2006). "A fluorescence labeling approach to assess the deterioration state of aged papers," *Cellulose* 13(4), 421-428.
 - Kacık, F., Kacıkova, D., Jablonsky, M., and Katuscak, S. (2009). "Cellulose degradation in newsprint paper aging," *Polymer Degradation and Stability* 94, 1509-1514.
 - Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., and Bohn, A. (2005). "Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material," *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44(22), 3358-3393.
 - Klemm, D., Philipp, B., Heinze, T., Heinze, U., and Wagenknecht, W. (eds.) (1998). *Comprehensive Cellulose Chemistry, Vol. 1: Fundamentals and Analytical Methods; Vol. 2: Functionalization of Cellulose*, Wiley-VCH, Chichester.
 - Klemm, D., Philipp, B., Heinze, T., Heinze, U., Wagenknecht, W. (1998). *Comprehensive Cellulose Chemistry; Volume I: Fundamentals and Analytical Methods. 2. General Considerations on Structure and Reactivity of Cellulose*. WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim. ISBN: 3-527-29413-9.
 - Knill, C. J., and Kennedy, J. F. (2003). "Degradation of cellulose under alkaline conditions," *Carbohydrate Polymers* 51, 281-300.
 - Knutson, K., Pu, Y., Elder, T., Buschle-Diller, G. B., Yang, R., Thomson, C., Kim, D. H., et al. (2007). "Effect of photolysis on 17th/18th century paper," *Holzforschung* 61(2), 131-137.
 - Kobayashi, S., and Shoda, S. (1995). "Chemical synthesis of cellulose and celooligomers using a hydrolysis enzyme as a catalyst," *Int. J. Biol. Macromol.* 17(6), 373-379.
 - Koestler, R. J., Sardjono, S., and Koestler, D.L. (2000). "Detection of insect infestation in museum objects by carbon dioxide measurement using FTIR," *International Biodeterioration & Biodegradation* 46, 285-292.
 - Kolar, J., and Strlič, M. (eds.) (2006). *Iron Gall Inks: On Manufacture, Characterization, Degradation and Stabilization*, National and University Library, Ljubljana.
 - Kočar, D., Strlič, M., Kolar, J., Šelih, V. S., and Pihlar, B. (2008). "Peroxide-related chemiluminescence of cellulose and its self-absorption," *Polymer Degradation and Stability* 93(1), 263-267.
 - Kowalik, R. (1980). "Microbiodeterioration of library materials," *Restaurator* 4, 99-114.
 - Laguardia, L., Vassallo, E., Cappitelli, F., Mesto, E., Cremona, a, Sorlini, C., and Bonizzoni, G. (2005). "Investigation of the effects of plasma treatments on biodeteriorated ancient paper," *Applied Surface Science*, 252(4), 1159-1166.

- Lattuati-Derieux, A., Bonnassies-Termes, S., and Lavedrine, B. (2006). "Characterisation of compounds emitted during natural and artificial aging of a book, Use of headspace-solid-phase microextraction/gas chromatography/mass spectrometry," *Journal of Cultural Heritage* 7(2) 123-133.
- Levarie, N. (1968). *The Art and History of Books*, Heineman, Inc., New York.
- Łojewski, T., Miskowicz, P., Missori, M., Lubanska, A., Proniewicz, L. M., and Łojewska, J. (2010). "FTIR and UV/vis as methods for evaluation of oxidative degradation of model paper: DFT approach for carbonyl vibrations," *Carbohydrate Polymers* 82, 370-375.
- Łojewski, T., Miśkowicz, P., Molenda, M., Lubańska, A., and Łojewska, J. (2010). "Artificial versus natural aging of paper. Water role in degradation mechanisms," *Appl. Phys. A* 100, 625-633.
- Łojewski, T., Zieba, K., and Łojewska, J. (2010). "Size exclusion chromatography and viscometry in paper degradation studies. New Mark-Houwink coefficients for cellulose in cupri-ethylenediamine," *Journal of Chromatography A*, 1217, 6462-6468.
- Lyne, M. B. (1995). "The effect of pH on the permanence of LWC paper and fine paper made from recycled LWC," *Tappi J.* 78(12), 138-144.
- Magaouda, G. (2004). "The recovery of biodeteriorated books and archive documents through gamma radiation: Some considerations on the results achieved," *Journal of Cultural Heritage* 5(1), 113-118.
- Malesic, J., Kolar, J., and Strlič, M. (2002). "Effect of pH and carbonyls on the degradation of alkaline paper - Factors affecting ageing of alkaline paper," *Restaurator* 23(3), 145-153.
- Manso, M., and Carvalho, M. L. (2009). "Application of spectroscopic techniques for the study of paper documents: A survey," *Spectrochimica Acta Part B*, 64, 482-490.
- Manso, M., Pessanha, S., and Carvalho, M. L. (2006). "Artificial aging processes in modern papers: X-ray spectrometry studies," *Spectrochimica Acta Part B* 61, 922- 928.
- Matisovarychla, L., Rychly, J., Ebringerova, A., Csomorova, K., and Malovikova, A. (2008). "Chemiluminescence accompanying the oxidation of hemicelluloses," *Polymer Degradation and Stability* 93(9), 1674-1680. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2008.03.016
- McGarry, P. F., Schmidt, J. A., and Heitner, C. (2004). "Accelerated light exposure of wood-containing pulps. Part I: effects of wavelength and intensity," *Solutions! & Tappi J.* 3(10).
- Michaels, J. (1997). "A science research update from the National Library of Canada. The Permanence of Paper," *The Commission on Preservation and Access Newsletter*, 99. <http://www.clir.org/pubs/cpanews/cpanl99.html> (accessed 06 Dec 2010).
- Michaelsen, A., Pinzari, F., Ripka, K., Lubitz, W., and Pinar, G. (2006). "Application of molecular techniques for the identification of fungal communities colonizing paper material," *International Biodeterioration & Biodegradation* 58, 133-141.
- Mukoyoshi, S., Azuma J., and Koshijima T. (1981). "Lignin-carbohydrate complexes from compression wood of *Pinus densiflora* Sieb & Zucc," *Holzforschung* 35, 233-240.
- Neves, E. R., Schäfer, S., Phillips, A., Canejo, J., and Macedo, M. F. (2009). "Antifungal effect of different methyl and propyl paraben mixtures on the treatment of paper biodeterioration." *International Biodeterioration & Biodegradation* 63(3), 267-272.

- Pawliszyn, J. (1997). Solid Phase Microextraction. Theory and Practice, Wiley-VCH, New York, USA.
- Piantanida, G., Bicchieri, M., and Coluzza, C. (2005). "Atomic force microscopy characterization of the aging of pure cellulose paper," *Polymer* 46, 12313-12321.
- Porck, H. J. (2000). "Rate of paper degradation. The predictive value of artificial aging tests," European Commission on Preservation and Access, Amsterdam.
- Porck, H. J., and Teygeler, R. (2000). Preservation Science Survey. An Overview of Recent Developments in Research on the Conservation of Selected Analog Library and Archival Materials, Council on Library and Information Resources. Washington, DC.
- Potthast, A., Rosenau, T., and Kosma, P. (2006). "Analysis of oxidized functionalities in cellulose," *Adv. Polym. Sci.* 205, 1-48.
- Princi, E., Vicini, S., Marsano, E., and Trefiletti, V. (2008). "Influence of the artificial weathering on thermal stability of paper-based materials," *Thermochimica Acta* 468, 27-34.
- Proniewicz, L. M., Paluszkiewicz, C., Weselucha-Birczynska, A., Baranski, A., and Dutka, D. (2002). "FT-IR and FT-Raman study of hydrothermally degraded groundwood containing paper," *Journal of Molecular Structure* 614(1), 345-353.
- Proniewicz, L. M., Paluszkiewicz, C., Weselucha-Birczynska, A., Majcherczyk, H., Baranski, A., and Konieczna, A. (2001). "FT-IR and FT-Raman study of hydrothermally degraded cellulose," *Journal of Molecular Structure* 596, 163-169.
- Puica, N. M., Pui, A., Cozma, D., and Ardelean E. (2009). "A statistical study on the thermal degradation of some paper supports (old documents)," *Materials Chemistry and Physics* 113, 544-550.
- Rakotonirainy, M., Heude, E., and Lavedrine, B. (2007). "Isolation and attempts of biomolecular characterization of fungal strains associated to foxing on a 19th century book," *Journal of Cultural Heritage* 8(2), 126-133.
- Rakotonirainy, M. S., Dupont, A. L., Lavédrine, B., Ipert, S., and Cheradame, H. (2008). "Mass deacidification of Papers and Books. V - Fungistatic properties of papers treated with aminoalkyalkoxysilanes," *J. Cultural Heritage* (1), 54-59.
- Ramalho, O., Dupont, A.-L., Egasse, C., and Lattuati-Derieux, A. (2009). "Emission rates of volatile organic compounds from paper," *Preservation Science* 6, 53-59.
- Rissoan, G., Randriamahefa, S., and Cheradame, H. (1997). "Heterogeneous cationic polymerization initiators II- Polymerization of 2-methylpropene in the presence of FeCl₃ in non polar medium," *Cationic Polymerization and Related Ionic Processes*, R. Faust, and T. Shaffer (eds.), ACS Symposium Series 665, Chapter 12, 135-150.
- Roggia, S. (1999). "Sources in paper permanence research," in: William James Barrow: A Biographical Study of His Formative Years and His Role in the History of Library and Archives Conservation From 1931 to 1941, Chapter 6, Doctoral Thesis of Library Science in the Graduate School of Library Service, Columbia University.
- Rychlý, J., Matisová-Rychlá, L., Bukovský V., Pleteníková, M., and Vrška, M. (2005). "The progress of ageing of lignin-containing paper induced by light and its relation to

- chemiluminescence - Temperature runs,” *Macromolecular Symposia, Special Issue: Polymers for Africa* 231(1), 178-192.
- Rychly, J., Matisovarychla, L., Lazar, M., Janigova, I., Strlic, M., Kocar, D., Hanus, J., et al. (2006). “Thermal oxidation of cellulose investigated by chemiluminescence. The effect of magnesium and calcium carbonates and of different pHs,” *Comptes Rendus Chimie* 9 (11-12), 1425-1432.
 - Sawoszczuk, T, Barański, A, Łagan, J. M., Łojewski, T., and Zieba, K. (2008). “On the use of ASTM closed vessel tests in accelerated aging research,” *Journal of Cultural Heritage* 9(4), 401-411.
 - Selih, V. S., Strlic, M., Kolar, J., and Pihlar, B. (2007). “The role of transition metals in oxidative degradation of cellulose,” *Polymer Degradation and Stability* 92(8), 1476-1481.
 - Shahani, C., Lee, S. B., Hengemihle, F. H., Harrison, G., Song, P., Sierra, M. L., Ryan, C. C., et al. (2001). “Accelerated aging of paper: I. Chemical analysis of degradation products. II. Application of Arrhenius relationship. III. Proposal for a new accelerated aging test: ASTM research program into the effect of aging on printing and writing papers,” *Library of Congress*.
 - Sjöström, E. (1993). *Wood Chemistry, Fundamentals and Applications*, 2nd Ed., Academic Press, New York/London.
 - Schmidt, J. A., Rye, C. S., and Gurnagul, N. (1995). “Lignin inhibits autoxidative degradation of cellulose,” *Polymer Degradation and Stability* 49(2), 291-297.
 - Souguir, Z., Dupont, A.-L., and De la Rie, E.R. (2008). “Formation of brown lines in paper : Characterization of cellulose degradation at the wet-dry interface,” *Biomacromolecules* 9, 2546-2552.
 - Stephens, C. H., Barrett, T., Whitmore, P. M., Wade, J. A., Mazurek, J., and Schilling, M. (2008). “Composition and condition of naturally aged papers,” *Jaic* 47, 201-215.
 - Strlič, Matija., Kolar, J., Šelih, V. S., Budnar, M., Simčič, J., Kump, P., Nečemer, M., Marinšek, M., and Pihlar, B. (2006). “Chemical analysis of metals in paper and ink, in iron gall inks,” Chapter VI in: *Iron Gall Inks: On Manufacture, Characterisation, Degradation and Stabilisation*, J. Kolar, M. Strlič (eds.), National and University Library, Ljubljana, Slovenia.
 - Strlič, M., Cigić, I. K., Kolar, J., de Bruin, G., and Pihlar, B. (2007). “Non-destructive evaluation of historical paper based on pH estimation from VOC emissions,” *Sensors* 7(12), 3136-3145.
 - Strlič, M., and Kolar J. (eds.) (2004). *Ageing and stabilization of paper*, National and University Library, Ljubljana.
 - Strlič, M., and Kolar, J. (2002). “Evaluating and enhancing paper stability - Needs and recent trends,” 5th European Commission Conference on Research for Protection, Conservation and Enhancement of Cultural Heritage. Cracow, Poland, 16-18 May, http://www.heritage.xtd.pl/conference_report/strlic.html (accessed 06 Dec 2010).
 - Strlič, M., Thomas, J., Trafela, T., Csfalvayov, L., Kralj, C. I., Jana, K., and May, C. (2009). “Material degradomics: On the smell of old books,” *Analytical Chemistry* 81(20), 8617-8622.

- Szczepanowska, H. (1986). "Biodeterioration of art objects on paper," *The Paper Conservator* 10, 31-39.
- Valentin, N. (1986). "Biodeterioration of library materials. Disinfection methods and new alternatives," *The Paper Conservator* 10, 40-45.
- Williams II, E. L., and Grosjean, D. (1992). "Exposure of deacidified and untreated paper to ambient levels of sulfur dioxide and nitrogen dioxide: Nature and yields of reaction products," *JAIC* 31(2), Article 4, 199-212.
- Williams, J. C. (1981). "A review of paper quality and paper chemistry," *Library Trends* 30(2), 203-224. Wise, L. D. (ed.) (1946). *Wood Chemistry*, Reinhold Publishing Co., New York.
- Wyman, C. E., Decker, S. R., Himmel, M. E., Brady, J. W., and Skopec, C. E. (2005). "Hydrolysis of cellulose and hemicellulose," *Renewable Energy* 160(1), 995-1033.
- Yuan, Z., Schmidt, J., Heitner, C., and Zou, X. (2006). "Coating improves the brightness stability of wood-free coated papers containing high-yield pulp," *Tappi J.* 5(1), 9-13.
- Zervos, S. (2010). "Natural and accelerated aging of cellulose and paper: A literature review," In: Lejeune, A. and Deprez, T. (eds.) *Cellulose: Structure and Properties, Derivatives and Industrial Uses*. New York, Nova Publishing.
- Zervos, S., and Moropoulou, A. (2006). "Methodology and criteria for the evaluation of paper conservation interventions: A literature review," *Restaurator* 27(4), 219-274.
- Zervos, S and Moropoulou, A. (2005). "Cotton cellulose ageing in sealed vessels. Kinetic model of autocatalytic depolymerization," *Cellulose* 12(5), 485-496.
- Zotti, M., Ferroni, A., and Calvini, P. (2008). "Microfungal biodeterioration of historic papers: preliminary FTIR and microbiological analyses," *International Biodeterioration and Biodegradation* 62, 186-194.
- Zou, X., Gurnagul, N., Deschâtelets, S., Bégin, P., Iraci, J., Grattan, D., Kaminska, E., and Woods, D. (1998). "Canadian co-operative permanent paper research project: The impact of lignin on paper permanence," *TAPPI 1998 Process & Product Quality Conference*, Milwaukee, Wisconsin, October 16-23.
- Zou, X., Gurnagul, N., and Uesaka, T. (1993). "The role of lignin in the mechanical permanence of paper. I: Effect of lignin content," *Journal of Pulp and Paper Science* 19(6), J235-J239.
- Zou, X., and Gurnagul, N. (1995). "The role of lignin in the mechanical permanence of paper: Part II. Effect of acid groups," *Journal of Wood Chemistry and Technology* 15(2), 247-262.
- Zou, X., and Gurnagul, N. (2001). "Paper standards: The new Canadian permanent paper standard (CAN/CSGB-9.70-2000): Development process and its implications (The standard does not limit the lignin content or the types of fibers that may be used)," *Pulp & Paper Canada*, 7.
- Zyska, B. (1997). "Fungi isolated from library materials: A review of the literature," *International Biodeterioration and Biodegradation* 40(1), 43-51. Article submitted: August 24, 2011; Peer review completed: October 5, 2011; Revised version received: October 13,

2011; Received and accepted with additional changes: October 25, 2011; Published:
October 30, 2011.

Bi-annual Journal of Restoration Science and Cultural Heritage

New course, sixth year, consecutive number 10, Spring
& Summer 2019

A study on the similarity and difference of landscape gardening between of Beyram-Abad Garden and other Gardens in Kerman

Saleheh Farahbakhsh & Gholam Reza Kiani Dehkiani

Spaces and species: archaeology, landscape ecology and spatial models in northern Patagonia

V Scheinsohn & SD Matteucci

Najmeh Noori (translator)

A review of structure, corrosion and treatment of iron gall ink

Azam Ramezani Charmineh & Mehrnaz Azadi Boyaghchi

Reconstruction of Historical Ceramic Objects with Numerous Missing Parts

Noushin Beneslou & Mehdi Razani & Ali meirzai

Indigenous Methods of Preserving Manuscripts: An Overview

Sahoo, J. & Mohanty, B

Azam Ramezani Charmineh(translator)

Paper aging and degradation: Recent findings and research methods

Maria Cristina Area & Herve Cheradame

Mostafa khajeh-mahmoudi & Mohsen Mohammadi Achachluei (translators)

