



دانشگاه آزاد اسلامی تبریز



دانش مرمت و باستان سنجی ایران

سال دوم، شماره اول، دو فصلنامه بهار و تابستان ۱۴۰۰

- بررسی آزمایشگاهی یک سند کاغذی حاوی فرمانی از مظفرالدین شاه متعلق به سلسله قاجار
صدیقه نادری جلودار، فروزان حق شناس کتابی
- تکنیک ها و مواد رایج در آهاردهی آثار کاغذی متأخر: با نگرشی ویژه بر آهار مبتنی بر کلو فان
در کاغذهای ماشینی
مهدی قربانی
- مروری بر بررسی های باستان سنجی و ساختارشناسی سفال های نخودی شهر سوخته سیستان
یاسین صدقی، فرح انگیز صبوحي ثانی
- کتاب شناسی حوزه حفاظت، مرمت و باستان سنجی مصالح و آرایه های گچی در زبان فارسی
حامد یعقوب زاده، مهدی رازانی، آرمین موسی خانی
- آنالیز، مدل سازی و ترویج ارزش های ملموس و غیر ملموس بناهای تاریخی دارای سیستم های
روشنایی شامل مشعل و پیله سوز
پی. لاساندر، سی. اس. فیوریلو، ام. لپوریا، ام. زونو
- تاثیر یون های سرب در خشک شدن روغن ها
چارلز توموسا، ماریون مکین بورگ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نشریه علمی-تخصصی

دانش مرمت و باستان‌سنجی ایران

سال دوم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۰



مشخصات نشریه:

صاحب امتیاز و استاد مشاور: دکتر مهدی رازانی

مدیر مسئول و سردبیر: جلیل اسمعیل نژاد تیمورآبادی

بازخوان مقالات: لیلی نعمانی خیاوی

مسئول اجرایی: حامد علیپور هاسونی

طراح لوگو: موسسه هنری و مرمتی هفت رنگ و ناروش (الگو برداری از پژوهش باستان‌سنجی)

طراح جلد: کیهان عبدالهی ماکوئی

زیر نظر امور فرهنگی دانشگاه هنر اسلامی تبریز

آدرس پستی نشریه:

تبریز، خیابان آزادی، میدان حکیم نظامی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز

پست الکترونیکی:

maremat.bastansanji@gmail.com

تارنما:

<http://faa.tabriziau.ac.ir>

اعضای هیأت تحریریه :

حکیمه افشاری نژاد

کارشناس ارشد باستان‌سنجی

عبدالبصیر حسین‌بر

دانشجوی دکتری مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی

فاطمه صحتی

کارشناس ارشد باستان‌سنجی

یاسین صدقی

کارشناس ارشد باستان‌سنجی

جواد عباسی

دانشجوی دکتری مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی

طلحه قدوسی‌ان

کارشناس ارشد باستان‌سنجی

مهدی قربانی

دانشجوی دکتری مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی

رامین محمدی سفیدخانی

کارشناس ارشد باستان‌سنجی

لیلی نعمانی خیاوی

کارشناس ارشد مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی

جلیل اسمعیل نژاد تیمورآبادی

دانشجوی کارشناسی ارشد مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی

به نام یگانه هستی بخش

سخن نخست

خدا را شاکریم که شماره دیگری از دوفصلنامه علمی دانش مرمت و باستان‌سنجی ایران به همت متخصصان این حوزه بصورت الکترونیکی منتشر شد. در طول انتشار این شماره اتفاقات بسیار مهمی در حوزه میراث فرهنگی کشور اتفاق افتاد. سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری کشور که در شهریور ماه ۱۳۹۸ و با رای اعتماد نمایندگان مجلس به وزارتخانه تبدیل شده بود، با روی کار آمدن دولت جدید دومین وزیر وزارتخانه نوپای میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری مشخص شد. به رسمیت شناخته شدن مرمت آثاریخی به عنوان یک شغل در کشور و همچنین از دست دادن مهربان استاد مرمت ایران از مهمترین اتفاقات دیگر در این حوزه بود.

دومین شماره نشریه دانش مرمت و باستان‌سنجی ایران در حالی منتشر می‌شود که تلاش‌های مستمر و مطالبه‌گری‌های هنرمندان و متخصصان حوزه حفاظت و مرمت بعد از چندین دهه به ثمر نشسته و نتیجه داده است و از تاریخ ۱۲ تیر ۱۴۰۰ انجمن صنفی مرمتگران ایران به شکل رسمی و در چارچوب قانون کار به رسمیت شناخته شده و شکل رسمی و قانونی بخود گرفته است. این اتفاق در جامعه مرمت آثار تاریخی کشور بسیار مهم بوده و نوید بخش آینده این جامعه خواهد بود.

سوا از این موضوعات کلان، امسال همچنان ویروس کرونا همه مشاغل، تخصص‌ها و فعالیت‌ها را تحت شعاع خودش قرار داده بود و دانشجوی مرمت را تصور کنید که از بدو ورود به دانشگاه تا فارغ‌التحصیلی از این رشته به کارگاه، آزمایشگاه و کتابخانه وابسته است! و چالش‌هایی که دانشجوی با آن دست به گریبان است از یک سو و چالش‌های اساتید برای ارائه دروس عملی از سویی دیگر! و همچنین رشته مرمت هم مثل سایر حوزه‌ها به راه خود ادامه داد و ادامه می‌دهد و این دو فصلنامه هم مسیر خود را طی می‌کند. و در نهایت نشریه‌ای که پیش روی شما است

دانش مرمت و باستان‌سنجی ایران

نتیجه اندوخته‌های پژوهشگران حوزه مرمت و حمایت‌های اساتید بزرگواری است که در این شماره ما را یاری نموده‌اند.

شماره دوم نشریه الکترونیکی دانش مرمت و باستان‌سنجی ایران به پاس زحمات جناب مهندس اصغر توکلی در حوزه مرمت آثار تاریخی کشور تقدیم روح جاودانه مهربان استاد مرمت می‌شود.

جلیل اسمعیل نژاد تیمورآبادی

سر دبیر و مدیر مسئول نشریه دانش مرمت و باستان‌سنجی ایران

دانش مرمت و باستان‌سنجی ایران

فهرست مقالات

- سخن سردبیر
- بررسی آزمایشگاهی یک سند کاغذی حاوی فرمانی از مظفرالدین شاه متعلق به سلسله قاجار
صدیقه نادری جلودار، فروزان حق شناس گتایی
- تکنیک‌ها و مواد رایج در آهاردهی آثار کاغذی متأخر: با نگرشی ویژه بر آهار مبتنی بر کلوفان
در کاغذهای ماشینی
مهدی قربانی
- مروری بر بررسی‌های باستان‌سنجی و ساختارشناسی سفال‌های نخودی شهر سوخته سیستان
یاسین صدقی، فرح‌انگیز صبحی ثانی
- کتاب‌شناسی حوزه حفاظت و مرمت و باستان‌سنجی مصالح و آرایه‌های گچی در زبان فارسی
حامد یعقوب‌زاده، مهدی رازانی، آرمین موسی‌خانی
- آنالیز، مدل‌سازی و ترویج ارزش‌های ملموس و غیرملموس بناهای تاریخی دارای سیستم‌های
روشنایی شامل مشعل و پیه سوز
نویسندگان: پی. لاساندر، سی. اس. فیوریلو، ام. لپوریا، ام. زونو / برگردان: فرشته عباسی
- تأثیر یون‌های سرب در خشک شدن روغن‌ها
نویسندگان: چارلز توموسا، ماریون مک‌کن بورگ / برگردان: عمر قوی‌دل



بررسی آزمایشگاهی یک سند کاغذی حاوی فرمانی از مظفرالدین شاه متعلق به

سلسله قاجار

صدیقه نادری جلودار^{۱*}؛ فروزان حق شناس کتابی^۲

۱. کارشناس ارشد مرمت آثار تاریخی، تهران مرکز، ایران (naderi.sedigheh@gmail.com).

۲. دکترای ادبیات فارسی، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد سیرجان.

چکیده

اسناد تاریخی از جمله ارزشمندترین ابزار برای شناخت جنبه‌های مختلف تاریخ جوامع بشری هستند. محتوای یک سند، می‌تواند شرایط خاص اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و فرهنگی متعلق به جوامع مختلف را آشکار نماید؛ از این روی، ساختار فیزیکی موجود در آنها، می‌تواند اطلاعاتی در مورد سطح تحول و پیشرفت فنی و علمی و نیز نوع ابزارهای مورد استفاده در صنعت کاغذسازی را فراهم آورد. از سوی دیگر، مطالعه دقیق پیرامون یک سند، اولین و مهم‌ترین بخش در فرآیند حفاظت و مرمت به منظور یافتن راه‌حل‌های اصولی برای درمان آن است. در این پژوهش، یک نمونه سند کاغذی از مربوط به یکی از فرامین مظفرالدین شاه قاجار از لحاظ محتوایی و ساختاری مورد مطالعه قرار گرفته است. در ابتدای این پژوهش، محتوا و شکل ظاهری این سند و سپس اجزای مختلف متن آن از جمله عنوان و متن اصلی فرمان، مهرها، امضاها و غیره بررسی شده است. در نهایت نیز نوع الیاف کاغذ و مواد رنگی موجود در این سند، با استفاده از روش‌های دستگاهی PIXE و SEM مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج این بررسی وجود مرکب مازویی، رنگدانه‌های طلا، قرمز سرنج و آلیاژ قلع در رنگ نقره‌ای، سیاه سربی و سبز با ترکیبات مسی و رنگدانه لاجورد را نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها: کاغذ، فرمان، مظفرالدین‌شاه، حفاظت و مرمت، PIXE، SEM، رنگ.

Investigation on a Paper document containing the decree of Nasser al-Din Shah belonging to the Qajar dynasty

Sediqueh Naderi Jeloudar^{a*}; Forozan haghshenas gatbi^b

a. M.A. in Conservation and Restoration of Historical Structures, Islamic Azad University Central Tehran, Iran

b. PH.D. Persian Language and Literature, Faculty of Literature and Humanities, Sirjan, Islamic Azad University, Iran

Abstract:

Historical documents are among the most important means of recognizing various aspects of the history of different societies. The content of a document acquaints us with the social, political, economic, and cultural conditions of a society in a particular period, and its material and physical structures provide information about the level of technical, instrumental, and scientific development of the paper industry. On the other hand, studying a document precisely and comprehensively is the first and most important step in preserving documents and finding principled solutions for it. In this research, one of the decrees of Mozaffar ad-Din Shah Qajar has been studied in terms of its content and structure. The content of the document and its visual structure including the titles, seals and signatures, etc. have been described first and then, the paper fibers and pigments used in the document have been examined using PIXE and SEM methods. The findings showed that some material including Iron-gall ink, Gold, Lead tetroxide, Tin, Lead dioxide, Cu-based green pigment (verdigris) and Lapis lazuli are present on the paper.

Keywords: Paper, Decree, Mozaffar al-Din Shah, Conservation and Restoration PIXE, SEM, Colour

۱- مقدمه

اسناد تاریخی از مهمترین منابع مکتوب در پژوهش‌های تاریخی به شمار می‌آیند اگر بررسی علمی شوند مسائل بسیاری معلوم و روشن می‌گردد که فهرستوار به آن اشاره می‌کنیم. روش مکاتبات اداری و ترتیب ثبت و ضبط آنها، اصطلاحات اداری، دیوانی، سیاسی، اجتماعی، مالی و تحول آنها، وضع اقتصادی و مالی و نحوه داد ستد و پول، نحوه قبالة نویسی و مکاتبات اداری، تحول زبان، تحول رسم الخط، تطور و تحول فن نویسندگی، مطالعه مهر و طغرا و توشیح، بسیاری از مسائل سیاسی اجتماعی دیگر را برای ما آشکار می‌کند. شناسایی الیاف و رنگدانه‌های اسناد می‌تواند گامی در جهت تهیه بانک اطلاعاتی از مواد و مصالح به کار رفته در هنر کتاب آرایی در هر دوره، مقایسه آن با نسخ خطی و رساله‌های مربوطه و تدوین گوشه‌ای از تاریخ این هنر باشد. روش‌های تجزیه کمی و کیفی و شناسایی مواد آلی که کاغذ هم جزء آن‌ها محسوب می‌شود می‌توانند به شناخت ساختار آن‌ها و در نتیجه تعیین زمان احتمالی تهیه کاغذ و یا زمان استفاده از آن به عنوان یک اثر فرهنگی منتهی شوند.

در قالب یک تعریف فرمان به عنوان سندی است که مطالبی در خصوص واگذاری مناصب یا اعطای القاب را در بردارد و شامل اوامر و دستورات و مصوباتی که به مهر و طغرای پادشاه برسد (موسسه پژوهش و مطالعات فرهنگی، ۱۳۷۱). بررسی اسناد دوره قاجار نشان می‌دهد که در این دوران پیشرفت و تحول زیادی در تهیه اسناد به وجود آمده است. نمونه‌های موجود از این دوره را می‌توان به اشکال زیر طبقه‌بندی کرد:

- ۱- برش رایج در اسناد صفوی و پیش از آن (به ویژه در اسناد دیوانی) کم استعمال می‌شود.
- ۲- در کنار سنت برش سند (که همچنان در برخی از اسناد قضایی یافت می‌شود)، نوع تازه‌ای از ایجاد نقش در این دوره باب می‌شود و اندیشه نحوست از برش کاغذ به کج کردن خط جدول حاشیه سند بدل می‌شود.
- ۳- علاوه بر نمونه‌های یاد شده، کج کشیدن خط سمت چپ سند نیز رایج می‌شود. یعنی در برخی از اسناد علاوه بر موارد یاد شده، خط گوشه پایین سمت راست جدول و خط بالای سمت چپ سند هر دو کج کشیده می‌شوند (مقامی، ۱۳۵۰).

فرمان‌ها در طبقه‌بندی اسناد، جایگاه و کاربرد آن‌ها در دوره قاجار، سبک و سیاق خطاطان در نگارش فرمان، اجزای اصلی شامل مطلع، شرح اشتیاق و حسن ختام و اضافات آن شامل تحمیدیه، طغرا، مهر، توشیح و توقیع و هر آنچه را که مربوط به شکل ظاهری یک فرمان است؛ پژوهش و واکاوی شده است. علاوه بر آن، بایگانی و مرحله ثبت سند در دیوان‌های حقوقی مورد بررسی قرار گرفته است. از ویژگی‌های سند دست‌ساز بکار بردن هنر تذهیب، تشعیر، کتیبه سازی، سرلوح، حاشیه‌سازی است. که با رنگ‌های مختلف رنگ‌آمیزی می‌شده است. برای آراستن متن از خوشنویسی، مذهب کاری استفاده می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

تاکنون مطالعات آزمایشگاهی اندکی در زمینه شناسایی رنگدانه‌ها و رنگینه‌ها در نسخ خطی دوره صفویه صورت گرفت است. البته پژوهش‌هایی در این زمینه بر روی رنگ‌های به کار رفته در دوره قاجار انجام شده است (حاجیانی و گرجی، ۱۳۸۷). مقاله و پایان نامه وجود دارند که به فن شناسی و بررسی ساختار نسخ خطی و کتب تاریخی پرداخته‌اند. در این بین، مطالعات مختلفی بر روی الیاف کاغذ صورت گرفته است.

مقاله‌ای تحت عنوان «بررسی مهمترین ویژگی‌های آناتومی در شناسایی الیاف کاغذ» پرداختند الیاف گونه‌های چوبی و غیرچوبی مهم در صنایع کاغذ الیاف در صنایع کاغذسازی پرداخته و در انتها به این نتیجه رسیده‌اند که شناسایی الیاف کاغذ امکان پذیر است (نیک سرشت و دیگران، ۱۳۹۰). در مقاله‌ای دیگر با عنوان «شناسایی الیاف کاغذهای تاریخی جهت امکان سنجی تاریخ گذاری نمونه های مجهول» برای شناسایی الیاف در تهیه کاغذهای تاریخی پرداخته شده است. با استفاده از معرف‌های رنگی، مشاهدات میکروسکوپی و آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه استفاده شده است. با بررسی نتایج به دست آمده مشخص شد الیاف کتان به همراه کف بالاترین میزان کاربرد را در نمونه‌های مورد مطالعه با تاریخ کتابت مشخص داشتند (باقرزاده کشیری، ۱۳۹۴). همچنین مقاله‌ای با عنوان «شناسایی رنگینه‌ها و رنگدانه‌های به کار رفته در تزیینات و مرکب نسخ خطی قرآنی دوره صفوی»، با هدف شناسایی رنگینه‌ها و رنگدانه‌های به کار رفته در تزیینات نسخ خطی با استفاده از روش شیمی‌تر، میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به تجزیه شیمیایی پاشندگی پرتوی ایکس (SEM-EDX) طیف‌سنجی لیزری رامان و طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه مجهز به سلول انعکاسی ATR می‌باشد (بهادری و بحرالعلومی، ۱۳۹۵). در مقاله دیگری با استفاده از طیف‌سنجی لیزری رامان، رنگدانه‌های مورد استفاده در نقاشی‌های یک نسخه کتابت شده در هرات مورخ ۹۹۷ ق شناسایی شد که شامل لاجورد، زرنیخ، شنگرف، سرنج و سفیداب سرب بود (Hayes et al، 2004). وجود شنگرف در مرکب قرمز پوست نوشته‌های قرآنی قرن چهارم نیز ثابت شده است (کردوانی و دیگران، ۱۳۹۳؛ لامعی و دیگران، ۱۳۸۸).

۳- معرفی اثر مورد مطالعه

۳-۱- نمونه موردی: سند فرمان

به صورت خلاصه، مشخصات اصلی نمونه مورد مطالعه در این پژوهش شامل موارد زیر هستند:

عنوان اصلی نسخه: فرمان مظفرالدین شاه

موضوع نسخه: مزرعه امیر میراب به ملکیت آقا سید یعقوب و سید احمد خان سرهنگ مرحمت و واگذاری شد.



شکل ۱: پشت سند فرمان مظفرالدین شاه، ظهر نویسی شکل ۲: روی سند فرمان متن فرمان مظفرالدین شاه

تحمیدیه: تحمیدیه فرمان‌ها آغازگر متن سند است که در این سند با متن "الله، بسمه تعالی شانه العزیز" آراستن

مهر: مهر کردن اسناد و نامه‌ها و فرمان‌ها از دیرباز در ایران مرسوم بوده و شغل مهورداری از مشاغل محترم و مورد اعتماد دربارها بوده است (مقامی، ۱۳۵۰). مهر پادشاهان قاجار در صدر فرمان و پایین‌تر از تحمیدیه و بالاتر از متن سند قرار داشته است که حاوی عبارتی مسجع با اشاره به نام هر کدام از پادشاهان صادر کننده سند بوده. هر پادشاه در طول زندگانی خود از ولیعهدی تا پایان حکومتش، دارای چندین مهر بوده است. متن مهر سند نشانگر نام و اعتقادات صاحب آن است. متن مهر سند "الملک تعالی گرفت خاتم شاهی مظفرالدین شاه دمید کوکب فتح. ظفر تعالی" همچنین، تحمیدیه و مهر سند در بالای این سند مذهب کاری شده است.



شکل ۳: مهر شاهی

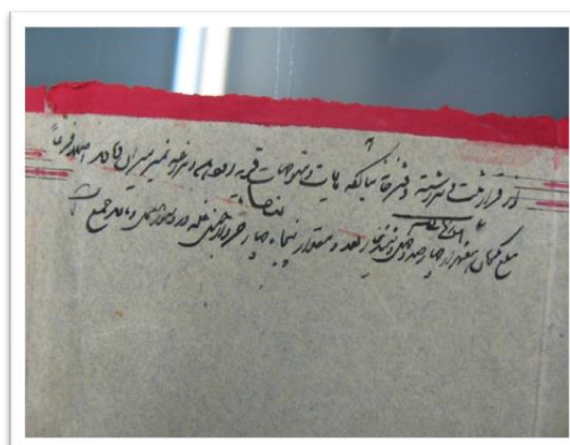


شکل ۲: تحمیدیه

ظاهر نویسی: به زبان ساده یعنی پشت نویسی، غالباً دیده می‌شود در اسناد دیوانی و فرامین، بویژه بروات، خواه بدلیل کمبود کاغذ، یا یکپارچه کردن اسناد برخی از مطالب مرتبط با سند را به پشت آن منتقل می‌کردند مانند اثر مهر مستوفیان و جمعداران و امور مالی، لذا باید پشت سند هم مورد بررسی قرار گیرد (جدی، ۱۳۸۷).



شکل ۴: ظهر سند



شکل ۵: ظهر سند

مهرهای چهارگوش با نام‌های، فتح‌الله ابن محمد رضا- سلمان بن علی- بانی من بعد اسمه احمد- افوض امری الی الله محمد صادق زین العابدین- صدرملک- امین دفتر- الملک نصر- معاون دفتر- علی ابن حسن اکبر- الله عبد الموسوی- الله نوربن محمد- ناخوانا- محمد علی بن محمود- الراجی الی علیرضا بن محمود- ناخوانا- سلام حسین بن محمد- محمد رضا شفی محمد- بعد اسمه احمد بانی من حسین- ملک دفتر است.

مهرهای بیضی: حسینقلی- امین الملک- الملک الوکیل (ناخوانا)- عبده محمد صادق- عمادالسلطان- عبده الرحیم- عبدالرجی حسین محمد- محمد ابن علی محمد- محمد حسین- مصدق السلطنه- محمد بن عبد محمد طاهر و متن «امضاها همه ثبت شد» دارد^۱.

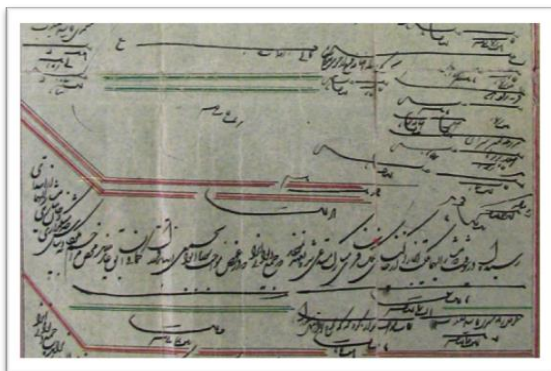
توشیح: توشیح به معنای امضا در دوره قاجار رسم شده است، بدین معنی که پس از اینکه کلیه مراحل نوشتن فرمان با نامه‌های مشابه آن انجام می‌شد و مهرگذاری و طغراکشی صورت می‌گرفت باید آن را پادشاه توشیح می‌کرد. این رسم بعدها به صورت امضاء در آمد (جدی، ۱۳۸۷).



شکل ۷: پنج امضاء گلابی موجود در ظهر سند



شکل ۶: سیاق



شکل ۹: توشیح



شکل ۸: طغرا: الملک تعالی حکم همایونی شد

رکن مطلع: رکن حال و رکن خاتمه است که رکن باید تا حد امکان زیبا و جالب باشد و دبیران اهتمام زیادی به آن داشتن یک مطلع سه جزء دارد خطاب، القاب، و دعا ترکیب می‌شده است در دوره قاجار شامل خطاب،

^۱ . در ظهر سند ۵ امضاء گلابی و ۳۱ امضا ۱۸ مهر چهار گوش وجود دارند.

و القاب بوده. رکن اصلی موضوع اصلی فرمان نوشته می شود و رکن خاتمه بخش سوم متن گاهی دستور، توصیه به شخص صاحب سند و بعضا دعا و تاریخ بوده (قائم مقامی، ۱۳۵۰).

بازخوانی متن این فرمان به شرح زیر است:

"چون از قرار فرمان شاهنشاه شهید (ناخوانا) الله تعالی (ناخوانا) ثبت و سر رسته دفترخانه مبارکه و دستوالعمل دیوانی دماوند مقدار پنجاه چهار هزار غله دیوانی قریه رودهن و مزرعه نمیر میراب بعد از وضع مستمری ورثه مرحوم آقا سید جعفر کردبچه از زمان خاقان مغفور الیه الله تعالی حلال النور تاکنون معر اعلی التوصل در عوض مواجب سوار کردبچه برقرار و بمقربى الحضره آقا سید یعقوب و سید احمدخان سرهنگ و سی نفر سواره ابواجمعی آنها رسیده است در این وقت که مشارالیه ما آنجا را از خاکپای (ناخوانا) مبارک مستدعی شده تعهد نموده اند جمع دیوانی آن را که در عوض مواجب سواره ابواب جمعی آنها برقرار است کما فی سابق عاید دارند محض ماحم ملوکانه و بپاس خدمت گذاری و جان سپاری مشادالی هما از ابتدای هذه السنه مسعوده ایت ایل خیرت دلیل قریه رودهن مزرعه نمیر میراب را بملکیت اربابی آقا سید یعقوب و سید احمد خان سرهنگ و مرحمت واگذار و بصورت این مبارک منشور قضا دستور جهان مطاع امر و مقرر می فرمائیم که صدد آبادانی اش بر آمده جمع دیوانی را بعد از وضع مستمری ورثه آقا سید جعفر کردبچه در عوض مواجب سی نفر سوار جمعی خود کما فی سابق مقرر دانسته عاید و کارسازی دارند و هر نحو تصرفات مالکانه از قبیل بیع و شری و نقل و انتقال که بخواهند در آنها بنمایند مجاز و مختار خواهند بود جزء فروش تبیعه زجاجة که در این صورت از ملکیت و مشارالی هما منتزع و به خالصگی اولیه مرجوع خواهد شد و مشارالیهما برای تسجیل مالکیت خود در خالصه مزبور مبلغ یکصد تومان وجه نقد تقدیم و تسلیم حضور مرحمت ظهور مبارک نموده اند. مقرر آنکه خیابان مستوفیان عظام و کتاب سعادت فرجام قریه رودهن و مزرعه نمیر میراب را از جزوء خالصجات دیوانی خارج و در دفتر اربابی بملکیت آریالا سید یعقوب و سیداحمد خان سرهنگ ثبت نموده شرح فرمان مبارک را در دفتر جلود ضبط نمود در عهده شناسند شهر صفر سنه ۱۳۱۶".

شایان ذکر است که متن سند واگذاری و نقل انتقال ملک و فروش غله با شرایط خاص است. در سند قیمت نحوه واگذاری شرایط سهامداران و چگونگی ثبت و ضبط آورده شده است. به طور کلی، مشخصات ظاهری این سند در جدول شماره ۱ و به تفکیک ارائه شده است.

جدول شماره ۱- مشخصات ظاهری سند

اندازه های سند اندازه قبل از مرمت	طول: ۴۶، عرض: ۳۶
نوع خط متن	شکسته نستعلیق، سیاق
کیفیت خط	عالی
نوع خط حاشیه	تعلیق
تعداد سطور	تعداد سطر سیاق: ۷ خط، تعداد خط سطر ۹ خط
رقم	۲ خط
سجلدات	۱
تاریخ تحریر	صفر ۱۳۱۶ ه ق
محل سند	تهران

ارزش کتابت	بدون غلط
تزیینات نسخه:	تذهیب، طلا اندازی بین سطور. محرر، اسلیمی، جدول کشی
تاریخ جمع آوری نسخه	۱۳۶۰ هـ ش در موسسه مطالعات تاریخ معاصر جمع آوری شد.
محل نگهداری نسخه:	ایران، تهران، موسسه مطالعات تاریخ معاصر
شماره بازبایی نسخه در محل	۱۹۵/۱-۱۸۵-۳ ب ۳/۲-۱۸۵-۱۹۵ ب

۴- مواد و روش

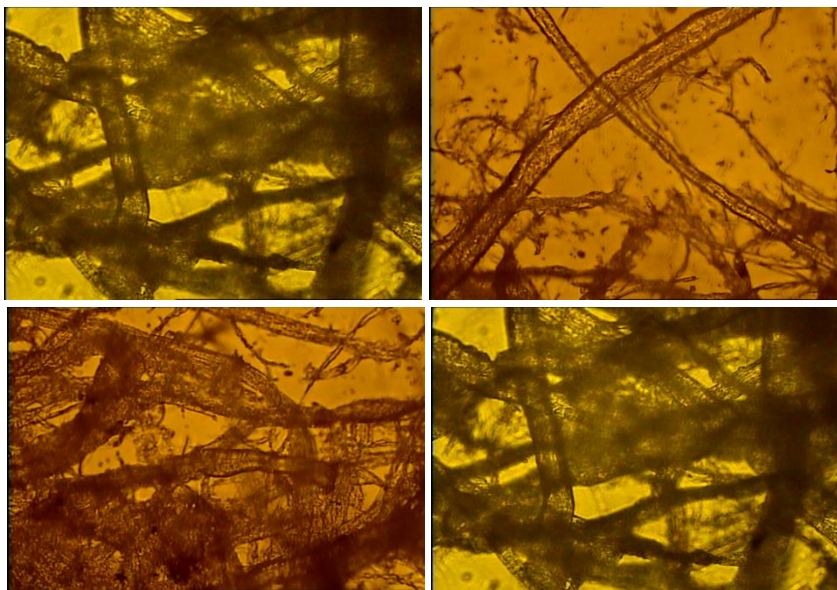
شناسایی نوع الیاف در ساخت کاغذهای اسناد براساس ویژگیهای ریخت شناسی الیاف از میکروسکوپ نوری PLM استریو بهره گرفته شد. این آزمایش در آزمایشگاه دانشگاه تهران دانشکده بیوشیمی بیوفیزیک (IBB) انجام گرفت. و جهت شناسایی رنگدانه‌ها از روش پرتو ایکس القائی پروتون PIXE استفاده شد است. همچنین انتخاب نمونه‌ها به صورت تصادفی انجام گرفت. روش تحقیق در این پژوهش تجربی و شیوه گردآوری داده‌ها و نتایج تحقیق، مطالعات آزمایشگاهی و کتابخانه‌ای است. نمونه‌ی مورد بررسی فرمانی از مظفرالدین شاه است.

جهت آنالیز عنصری رنگ در نمونه‌ها از روش پرتو ایکس القائی پروتون PIXE استفاده شد. با استفاده از یک شتاب دهنده سه مگاولتی Pelletron Tandem 9SDH2، شعاعی از پروتون‌ها به ابعاد ۲،۰ میلیمتر و با انرژی 2.2 MeV تولید شد. پرتو ایکس تولید شده توسط آشکارساز Si(Li) که در یک زاویه ۴۵° نسبت به جهت تابش قرار گرفته بود شناسایی شد. کالیبراسیون انرژی با استفاده از نمونه‌های هال In، Se، Cd و Zn انجام گرفته و در مقدار (1097 Ch, 33ev) ثابت نگه داشته شد. سرعت شمارش نیز ۵۱۲۴ شماره بر ثانیه بود. محدودیت در این روش شناخت اثر این است که عناصر سبکتر از سدیم قابل شناسایی نیست (لامعی رشتی و دیگران، ۱۳۸۸).

۵- نتایج و بحث

۵-۱- نتایج میکروسکوپی نوری الیاف کاغذ

با استفاده از تیغ بیستوری، از بخش‌های آسیب‌دیده در سند، تکه بسیار کوچکی از کاغذ که فاقد رنگ و مرکب و عملیات مرمت بود نمونه‌برداری شد. نتایج بررسی میکروسکوپی الیاف تهیه شده از سند، با تطبیق اطلاعات موجود در اطلس الیاف‌شناسی، الیاف پنبه به وضوح نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: تصاویر میکروسکوپی از لیف پنبه با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر (A-1)

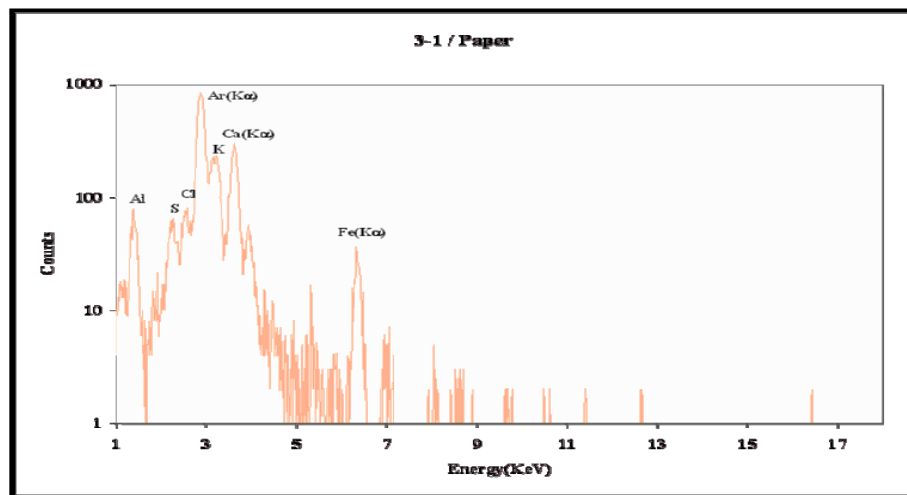
۵-۲- شناسایی رنگدانه ها سند

در این پژوهش نوع و ترکیب رنگ آبی، قرمز، سبز، نقره ای و طلایی و قسمت سیاه و بیرنگ کاغذ بکار رفته از پروتون (PIXE) نتایج آزمایشها نیز وجود پرکننده های کربنات کلسیم و کربنات سرب را در نواحی مورد بررسی نشان دادند.



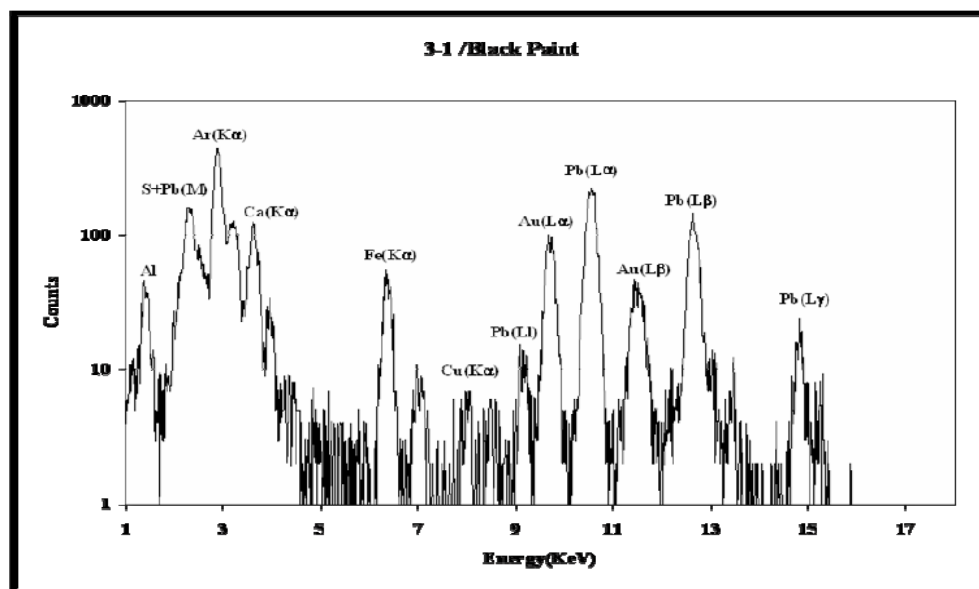
شکل ۱۱: بخش های رنگی مورد آنالیز بر روی کاغذ سند از طریق پرتو دهی با استفاده از دستگاه

PIXE



شکل ۱۲: دیاگرام (K-1) کاغذ در قسمت بدون رنگ و نوشته

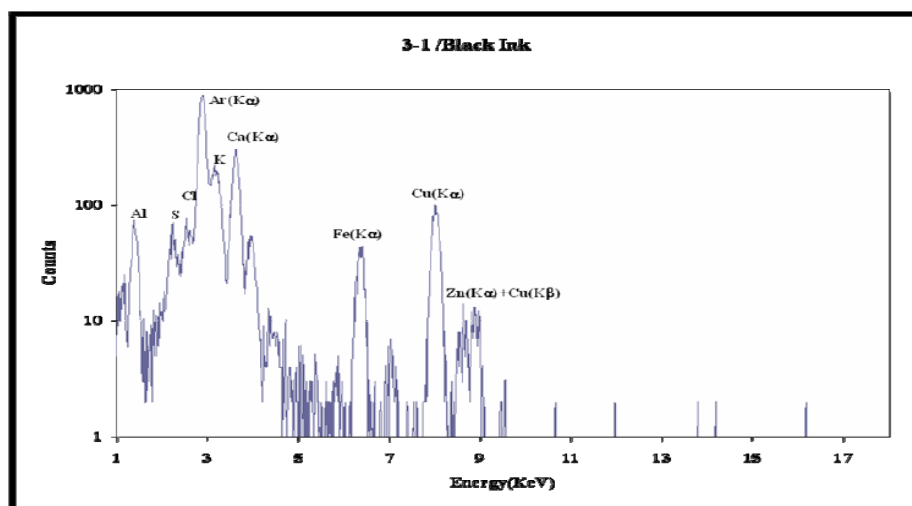
بررسی دیاگرام حاصل از تجزیه قسمت ساده (بدون نقش) کاغذ با استفاده از PIXE عناصر Al, Fe, K, Ar, Cl, Ca, S نشان میدهد که بخشی میزان آلومینیم و آرگون ممکن است خطای باشد که مواد آلی و فضا ایجاد میکند. مهمترین عناصر موجود در این قسمت از کاغذ سند شامل آلومینیم، کلسیم، آهن و پتاسیم است، که مربوط به پر کننده است و در تصاویر SEM هم این ذرات دیده می‌شود گوگرد و کلر معمولاً در فرایند تخریب بوجود می‌آید.



شکل ۱۳: دیاگرام (B-2) رنگ سیاه در قسمت نقش مهر

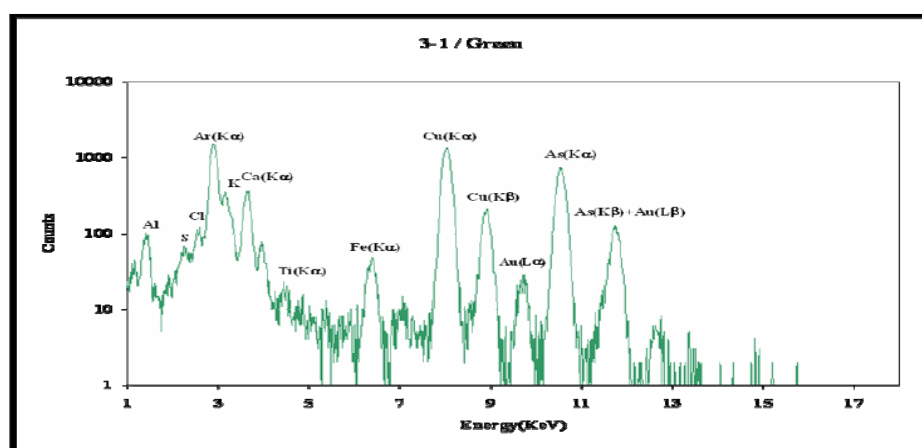
در آنالیز رنگ سیاه از ترکیبات حاوی سرب Pb است به همراه سایر عناصر Al, Fe, K, Ar, Cl, Ca, S که در دیاگرام وجود دارد. طلا Au هم دیده می‌شود که احتمالاً از تداخل سیاه با رنگ طلایی و قرمزکنار رنگ سیاه است Fe موجود در این دیاگرام با دیاگرام بالا (که مربوط به کاغذ بدون نقش است) یک میزان است. در تذهیب

دورگیری انجام می گیرد که با مرکب انجام می شود. و مس Cu در این قسمت مربوط به مرکب بوده که در دیگرام مرکب به خوبی نمایان است.



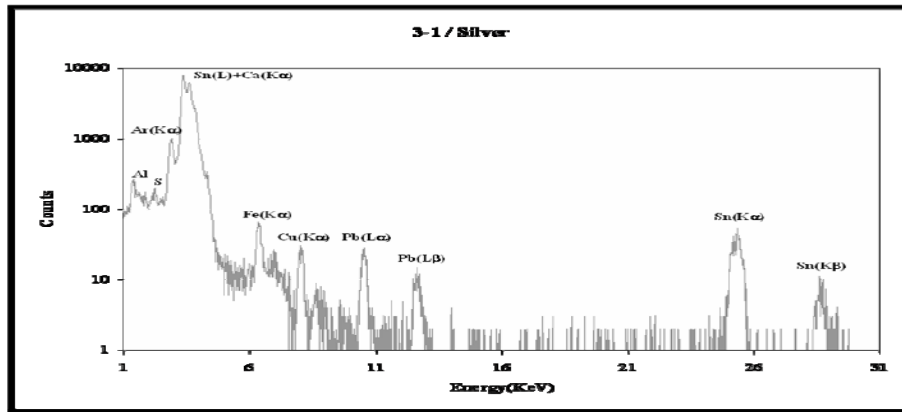
شکل ۱۴: دیگرام (B-3) رنگ سیاه در قسمت

در این قسمت باز هم همان عناصر Al, Fe, K, Ar, Cl, Ca, S دیده می شود اما شاخصه آن وجود مقدار قابل توجهی از مس Cu و روی Zn است که می تواند مربوط به مرکب مازویی باشد.



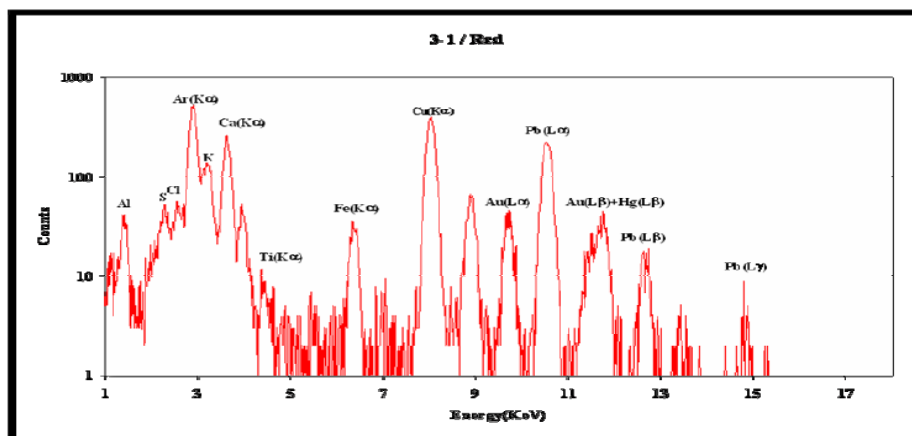
شکل ۱۵: دیگرام (GR-4) رنگ سبز در قسمت حاشیه

نتایج نشان داد که نمونه حاوی سیلیکون، گوگرد، کلسیم، آهن، مس بود و آرسنیک، که ترکیب اولیه است. مس و آرسنیک عنصر قابل توجه در این بخش از اثر دیده می شود. که در سایر دیگرام ها دیده نمی شود تنها منبع آرسنیک در رنگدانه سبز امردال با فرمول شیمیایی $3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2 \cdot \text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ، است. (Keune, 2016, K, el.s) که به عناصر نشان داده شده در دیگرام نزدیک است.



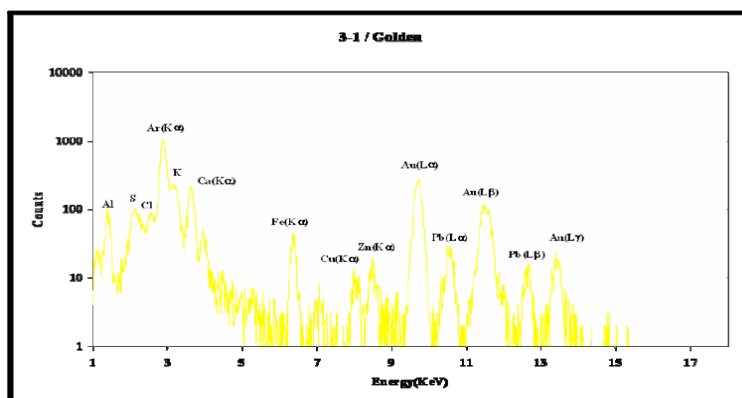
شکل ۱۷: دیاگرام (S-5) رنگ نقره ایی در قسمت نوشته مهر

در رنگ نقره‌ای، عنصر قابل بررسی در این دیاگرام که در سایر دیاگرام‌ها دیده نشد نیز قلع Sn است: معمولاً برای رنگ نقره‌ای از ترکیب قلع استفاده می‌شود چون جلایی نقره‌ای دارد و مانند نقره به راحتی سیاه نمی‌شود.

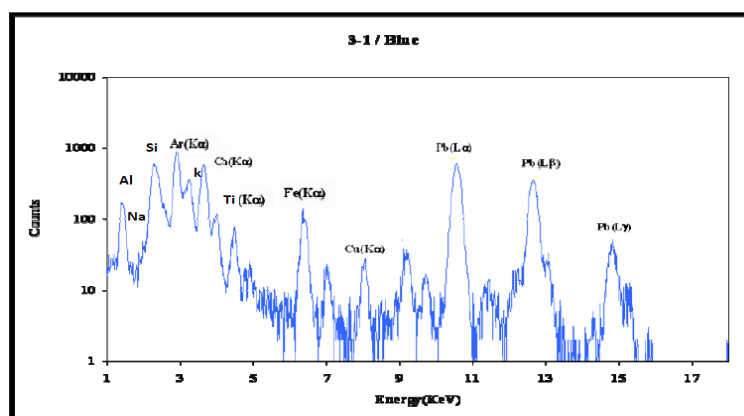


شکل ۱۸: دیاگرام (R-6) رنگ قرمز در قسمت حاشیه

در این رنگ قرمز باز هم عناصر Al, Fe, K, Ar, Cl, Ca, S را مشاهده می‌کنیم اما مقدار زیادی عنصر سرب را نشان می‌دهد که غیر از رنگ سیاه (شکل ۱۴) در دیاگرام‌های رنگ‌های دیگر دیده نمی‌شود و احتمالاً رنگدانه قرمز سرنج است. در اینجا مقدار قابل توجهی مس دیده می‌شود. تیتانم هم از عناصر موجود در این رنگ است. رنگ‌ها نقاشان معمولاً ترکیبی از چند رنگدانه برای ساختن یک رنگ استفاده می‌شده و ممکن است این رنگ هم ترکیب قرمز و سفید تهیه شده باشد.



شکل ۱۹: دیاگرام (G-7) رنگ طلایی در قسمت حاشیه



شکل ۲۰: دیاگرام (BL-8) رنگ آبی در قسمت حاشیه

مطالعات تاریخی نشان می‌دهد که اغلب نگاره‌های نسخ خطی ارزشمند و فرمان‌های شاهی از همنشینی دو رنگ آبی لاجورد با طلا زینت یافته‌اند (Barkashi, 2009) که در دیاگرام G-5 مربوط به رنگ طلایی از ترکیبات طلایی استفاده شده است. آنالیز عنصری رنگ آبی (B-7) وجود Na, Al, Fe, K, Ar, Cl, Ca, S, Cu را نشان می‌دهد که این سه ترکیب می‌تواند هر نوع آبی را شامل شود. غلظت بالای آلومینیم، کلر، سیلیسیم، و گوگرد در نقاط مورد آزمایش احتمال رنگ آبی لازوریت یا همان لاجورد می‌دهد. غلظت بالای سرب به دلیل استفاده از $Pb(OH)_2$ و یا $PbCO_3$ به عنوان رنگدانه سفید است.

جدول ۲- جمع بندی آنالیز , PIXE, میکروسکوپی

عنوان	شماره	آنالیز عنصری PIXE	نتیجه نهایی
الیاف	A-1	-	الیاف پنبه (براساس تصاویر میکروسکوپ نوری)
لایه کاغذ	K-1	Al, Fe, K, Ar, Cl, Ca, S	کاولین، کربنات کلسیم، کربنات پتاسیم
سیاه مذهب	B-2	Al, Fe, K, Ar, Cl, Ca, S, Cu, Au	اکسید آهن یا سرب

سیاه خط نوشته	B-3	Al,Fe,K,Ar,Cl,Ca,S,Cu,Zn	مازویی
سبز	GR-4	Al,Fe,K,Ar,Cl,Ca,S,Cu,Ti	امرالد و سفید تیتانیوم
نقره ایی	S-5	Al,Fe,Pb,Cu,S,Sn	آلیاژ قلع
قرمز	R-6	Al,Fe,K,Ar,Cl,Ca,S,Cu,Pb,Ti	سرنج و سفید تیتانیوم
طلایی	G-7	Al,Fe,K,Ar,Cl,Ca,S,Au,Pb	طلا
آبی	BL-8	Al,Fe,K,Ar,Cl,Ca,S,Na,Ti,Pb	احتمالا لاجورد

۶- نتیجه‌گیری

فرمان‌ها از جمله اسناد بسیار مهمی هستند که اطلاعات زیادی در حیطه تاریخ، جغرافیای تاریخی، سیاست، مذهب، نسب‌شناسی، جامعه‌شناسی، اقتصاد، و حتی فن آوری و علم دوران برای ساخت آن را آشکار می‌کند و در اختیار ما قرار می‌دهد. این امر امکان‌پذیر نیست جز اینکه از ساختار فرمان آگاهی داشته باشیم و برای شناخت آن باید علاوه بر محتوا، اشکال و اضافات سند (مهرها و...) هر پادشاه بشناسیم. باید بدانیم مواد بکار رفته در سندها از کاغذ تا رنگ‌ها و مرکب و جوهر چه بوده است تا بتوانیم تدابیری برای پیشگیری فرسایش آن انجام دهیم.

آنچه از بررسی سند موجود براساس طیف سنجی PIXE پرتو ایکس القائی پروتون و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به دست آمد شامل: رنگدانه‌های به کار رفته در سند: مرکب مازویی، قرمز سرب (سرنج)، آبی لاجورد، سبز امرالد، طلا و آلیاژ قلع و اخر است. مطالعات میکروسکوپی الیاف این سند پنبه نشان می‌دهد. در آخر باید خاطر نشان کرد در این مبحث نیاز به داده‌هایی بیشتری است و هنوز درباره سندهای تاریخی داده‌های پایه‌ای طیف سنجی PIXE کامل نیست و نیاز به مطالعات گسترده‌تر در این زمینه وجود دارد. کاغذ دست‌ساز و از جنس پنبه است به این الیاف هادرنی می‌گویند اغلب از الیاف پارچه‌های کتان، پنبه‌ای و کنفی تهیه می‌شوند کاغذهایی که دارای چنین الیافی هستند بسیار مرغوب می‌باشند و بیشتر برای اسناد مهم استفاده می‌شود. ذرات کوچکی به نام مواد پرکننده فضاهای خالی بین الیاف را پر می‌کنند. بخشی از مواد پرکننده تاریخی معمولا گل چینی و کربنات کلسیم بوده است که اطلاعات طیف‌سنجی وجود کلسیم و آلومینیم را نشان می‌دهد. برای ساخت فرمان‌ها (سند) در جریان نگارش و صدور فرمان، مناصب مختلفی دخیل بودند. افرادی کاغذ سند را تهیه کرده، برخی آن را تذهیب نموده، عده‌ای متن آن را نگاشته، برخی بر فرمان طغرا زده، برخی مهر پادشاهی را بر آن حک کرده و عده‌ای نیز بر پشت سند مهر زده و گاه عباراتی می‌نگاشتند که به جریان ثبت فرمان دلالت داشت عده‌ای از اصل فرمان رونوشت برداری نموده و رونوشت را در بایگانی‌های مرتبت ثبت می‌نمودند.

۷- منابع

افشار، ایرج (۱۳۴۳)، کتاب (از مجموعه مقاله‌های ایرانشهر، به کوشش علی‌اصغر حکمت). یونسکو/ چاپخانه‌ی دانشگاه.

برکشلی، ماندانا (۱۳۸۵). بررسی تاریخی و علمی روی آهارهای مورد استفاده در نسخ خطی و مینیاتورهای ایرانی، آینه میراث زمستان ۱۳۸۵ شماره ۳۵.

آل داوود، سیدعلی (۱۳۸۹). رنگ آمیزی کاغذ و مرکب سازی. برگرفته از کتاب جواهرالصنایع. نامه بهارستان، سال یازدهم، دفتر ۱۶، ۲۷ - ۳۶.

باقرزاده کثیری، مسعود (۱۳۹۴). شناسایی رنگدانه لاجورد در نگاره های ایرانی با استفاده از روش های نشر پرتو ایکس القائی پروتون (PIXE) و میکروسکوپی نیروی اتمی (AFM)، علوم و فناوری رنگ، ۹(۳)، ۲۵۸-۲۵۱.

بهادری، رویا، بحرالعلومی، فرانک (۲۰۱۷). شناسایی رنگینه ها و رنگدانه های به کار رفته در تزیینات و مرکب نسخ خطی قرآنی دوره صفوی. گنجینه اسناد، ۲۷(۱)، ۱۲۵-۱۰۴.

جدی، محمد جواد (۱۳۸۷). مهر و حکاکی در ایران. فرهنگستان هنر، تهران: شاد رنگ.

حبیبی، عبدالحی (۱۳۵۵). هنر عهد تیموریان. تهران: انتشارات بنیاد فرهنگ ایران (سابق).

موسسه پژوهش و مطالعات فرهنگی (۱۳۷۱). فرمان ها و رقم های دوره قاجار (جلد اول: ۱۲۱۱-۱۲۶۰ هجری) [آقا محمدخان، فتحعلی شاه، محمد شاه، و شاهزادگان معاصر، تهران: افق].

روستایی، محسن (۱۳۸۷). آخرین فرمان ناصرالدین شاه قاجار، کتاب ماه تاریخ و جغرافیا. تهران: سازمان اسناد ملی.

فضائی، حبیب الله (۱۳۹۱). اطلس خط تحقیق در خطوط اسلامی، تهران: صدا و سیما جمهوری اسلامی ایران (سروش).

قائم مقامی، جهان گیر (۱۳۵۳). مقدمه ای بر شناخت اسناد تاریخی. انتشارات انجمن آثار تاریخی، تهران: انتشارات انجمن آثار ملی.

مقبل اصفهانی، احمد (۱۳۸۰). شناخت و ساخت کاغذهای دست ساز. مشهد: سازمان کتابخانه ها، موزه ها و مرکز اسناد آستان قدس رضوی.

لامعی رشتی، محمد، آقاعلی گل، داوود، اولیایی، پروین (۱۳۸۸). آنالیز عنصری مرکب های به کار رفته در قطعات پوست نوشت قرآن با روش میکروپیکسی، نامه بهارستان، ۱۰(۱۵)، ۱۷۷-۱۸۴.

Barkeshli, M. (2009). Traditional Preventive Measures Used in Persian Manuscripts and Miniature Paintings: Historical and Scientific Analysis of Iranian Illuminated Manuscripts and Miniature Painting'. Golestane Honar: Quarterly on the History of Iranian Art and Architecture, 5(16), 8-22.

Khamseh, H. (2009). Identification of paper fiber and restoration techniques of five examples of Sheikh Safieddin Ardebili tomb Documents. 7th Conservation and Restoration Cultural-Historical Objects, Research Institute of Cultural Heritage, Crafts and Tourism Organization, First Edition, 184-192.

Keune, K., Mass, J., Mehta, A., Church, J., & Meirer, F. (2016). Analytical imaging studies of the migration of degraded orpiment, realgar, and emerald green pigments in historic paintings and related conservation issues. *Heritage Science*, 4(1), 1-14.

B. Kasiri, M., Younesi, B., and Yajam, A. (2016). Identification historical paper fibers to dating feasibility of unknown samples. *Journal of Research on Archaeometry*, 2(1): 29-38.

Information Organization (NASTINFO), 22(4): 39-54.

- Lienardy, A., and Damme, Ph.V. (1379). *Inter folia: manual de conservation et restoration du papier*, Translated: Sarvmoghadam, A, Mashhad, Islamic Research Foundation, Mashhad, Iran.
- Isenberg, I.H. (1967). *Pulp and Paper Microscopy*. The Institute of Paper Chemistry, Second printing, Appleton, Wisconsin.
- Johansson, S. A., & Campbell, J. L. (1988). PIXE: A novel technique for elemental analysis.
- Modgi, S., McQuaid, M.E., and Englezos, P. (2006). SEM/EDX analysis of Z-direction distribution of mineral content in paper along the cross-direction. *T 124 Pulp & Paper Canada*, 107(5): 48-51.
- Sistach, M.C., Ferrer, N., and Romero, M.T. (1998). Fourier transform infrared spectroscopy applied to the analysis of ancient manuscripts. *Restaurator*, 173-186.
- Stratis H. k; Salvesen, B. (2002). *The Broad Spectrum: Studies in the Materials, Techniques, and Conservation of Color on Paper*. London: Archetype Publications Ltd.



تکنیک‌ها و مواد رایج در آهاردهی آثار کاغذی متأخر: با نگرشی ویژه بر آهار مبتنی بر کلوفان در کاغذهای ماشینی

مهدی قربانی

پژوهشگر دوره دکتری حفاظت و مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر، تهران، ایران
(Ghorbanymahdi@gmail.com)

چکیده

با ابداع صنعت کاغذسازی ماشینی، مواد اولیه مصرفی در تولید کاغذ نیز دست خوش تغییر گشت. فرآیند آهاردهی به عنوان یک بخش مهم در تولید کاغذ صنعتی محسوب شد و مواد جدید با نگرشی متفاوت از قبل، در جهت ایجاد خواص ویژه و با رویکردهای اقتصادی و فرهنگی متنوع تر از گذشته ظاهر گردید. مواد آهاردهی به صورت یک ترکیب شیمیایی با تکنیک آهاردهی داخلی (Internal sizing) مطرح میشود. ترکیبات آلومینیوم دار (آلوم) در ترکیب با موادی چون ژلاتین و بعدها ماده کلوفان (راتیانه) به جهت تولید کاغذهای ماشینی نیز کاربرد چشمگیری یافت.

در این بررسی، به معرفی برخی از مهمترین مواد آهار در کاغذهای ماشینی پرداخته میشود و همچنین از آهار نوع کلوفان به عنوان یک آهار معمول و مهم در صنعت کاغذسازی سده ۱۹ میلادی بحث خواهد شد.

کلید واژه‌ها: کاغذ ماشینی، خمیر کاغذ، آهاردهی، الیاف سلولز، کلوفان

Common Techniques and Materials used in Recent Paper Works: Special focus on Rosin-based Sizing in Machine-made Papers

Mahdi Ghorbani

Abstract

Inventing of machine-made paper, raw materials used in paper production were also changed. The sizing process was considered as an important part in the production of industrial paper and new materials appeared with a different attitude, in order to create special properties and with more diverse economic and cultural approaches than before. Sizing materials are introduced as a chemical compound with internal sizing technique. Aluminum-containing compounds (alum) in composition with materials such as gelatin and rosin (colophony) were also significantly used to produce machine-made papers.

In this study, some of the most important types of sizing materials, especially rosin as a common and important size in machine-made papers of the 19th century are introduced.

Keywords: Machine-made paper, Pulp, Sizing, Cellulose fiber, Rosin

۱- مقدمه

آهار در کاغذ با ایجاد مناطق کم انرژی در سطوح فیبری، خاصیت ضد موئینگی و عدم نفوذپذیری مایعات را برای کاغذها بوجود می‌آورد (Seppanen, 2007, 3). در یک هدف کلی می‌توان ویژگی‌های آهار مرغوب را این‌گونه تفسیر نمود:

۱. چاپ‌پذیر یا تحریرپذیر نمودن کاغذ
۲. بهبود ویژگی‌های آبگریزی در کاغذ
۳. پرکننده و انسجام دهنده الیاف در کاغذ
۴. بهبود و اصلاح کیفیت و استحکام بافت در کاغذ
۵. پایداری ابعاد کاغذ
۶. سایش پذیری
۷. کاهش تخلخل

بشر از زمانی که کاغذ را به معنای عمومی آن شناخت، با آهار نیز آشنا شده است. در یک تعریف، کاغذ یعنی: یک نسج درهم شده از الیاف سلولزی که با فشار روی یکدیگر، تشکیل یک حجم نازک را می‌دهند و سپس روی آن سطح تشکیل شده را جلا (فرآیند آهار زدن) می‌دهند تا به جهت تحریر نیز سطحی مناسب حاصل شود (گوپتا و دیگران، ۱۳۶۹، ۹۶). بنابراین در یک الگوی کلی می‌توان مواد مورد استفاده در آহারدهی کاغذهای ماشینی را به دو گروه اصلی تقسیم‌بندی نمود:

۱. عوامل آهار طبیعی
۲. عوامل آهار سنتزی

۲- عوامل آهار طبیعی

در دوران قبل از صنعتی شدن کاغذ به صورت ماشینی، عوامل آهار از منابع آلی (پلیمرهای طبیعی) در غالب پروتئین‌ها، پلی ساکاریدها، ترپن‌ها و تری گلیسریدها تأمین می‌شده است. از آن جمله مواد طبیعی شامل نشاسته، چسب‌های حیوانی (ژلاتین)، شکر، دکستروز^۱، صمغ عربی، روغن دانه کتان، کتیرا، تخم مرغ، رزین‌های گیاهی مانند دامار^۲ و ماستیک یا کندر رومی^۳ و نیز دیگر مواد مشابه بوده‌اند (Connon, 2011, 4). در این میان به طور کلی و در حالت سنتی، نشاسته و ژلاتین از زیر مجموعه مواد طبیعی و آلی، به عنوان اصلی‌ترین منابع در این رابطه مطرح می‌شوند. با ابداع و ورود صنعت کاغذ ماشینی، تعدادی از این مواد در آহারدهی به صورت اولیه و طبیعی جایگاه خود را حفظ کردند و همچنان در فرآیند

۱. dextrin

۲. dammar

۳. mastic

آহারدهی کاغذ از آن‌ها بهره گرفته شدند. با افزایش تولیدات صنعتی کاغذ، مواد مشابه دیگری همچون کلوفان (در آتی معرفی خواهد شد) به عنوان یک ترکیب در آহারدهی کاغذهای ماشینی، مورد استفاده عموم صنعتگران این فن قرار گرفت.

هرگز پوشیده نیست که بشر در دوران اولیه از کاغذهای ماشینی، در جهت رسیدن به اهداف خاص خود (ابعاد اقتصادی و فرهنگی) نیز به دنبال تصحیح و دستکاری این مواد بوده تا خصوصیات ویژه‌ای در کاغذهای تولیدی بوجود آورند. از نمونه نتایج این اقدامات مهم، به کارگیری مواد مکمل و واسط، به صورت همنشینی مواد در فرآیند آহারدهی کاغذهای ماشینی، از جمله: آهار آلوم- ژلاتین و آلوم- کلوفان بوده است؛ که در این میان آلوم (ترکیبات آلومینیوم‌دار) به عنوان یک ماده مکمل در این فن، نقش واسط را ایفا می‌کند.

۲-۱- نشاسته

نشاسته را می‌توان از انواع منابع طبیعی (گیاهی) بدست آورد. نشاسته پلی ساکاریدیایی هستند متشکل از واحدهای گلوکز در دو شکل متفاوت از آمیلوز و آمیلوپکتین، که اغلب نشاسته‌ها ترکیبی از این دو شکل هستند. منابع آহারدهی در کاغذسازی ماشینی برای آهار نشاسته: ذرت دانه‌ای و خوشه‌ای، گندم، سیب-زمینی و تاپیوکا^۱ (نشاسته کاساو یا مانیوک) است. در منابع آمده است که در کاغذهای چینی (اواسط قرن نهم میلادی)، از نشاسته به عنوان آهار کاغذ استفاده شده است. همچنین اشاره شده که در کاغذهای اولیه عربی (مسلمانان)، از نشاسته گندم به صورت مخلوطی از گچ یا آهک (سولفات و کربنات کلسیم) و نشاسته برای ایجاد یک سطح صیقلی و براق بر روی کاغذها، بهره گرفته‌اند. کاغذهای تولیدی اولیه در اسپانیا با تأثیر از سبک کاغذهای عربی نیز از نشاسته به عنوان یک عامل آهار در کاغذ بهره گرفته شده است (Henry, 1988, 6).

یکی از مهم‌ترین امکانات استفاده از نشاسته، کاربرد به صورت یک محلول امولسیون به عنوان جزئی از فرآیند آহারدهی کاغذهای ماشینی، برای اصلاح اثرات کاهش استحکام در کاغذ، ناشی از کاربرد کربنات کلسیم به عنوان پرکننده کاغذ است (Hubbe, 2004, 147). دیگر محاسن نشاسته در کاغذ، توانایی در افزایش سرعت فرآیند خشک کردن کاغذ پس از تولید است. نشاسته به عنوان آهار در کاغذسازی ماشینی، به سه روش به کار می‌رود:

۱. به عنوان آهار داخلی (درونی): پس از پخت و پیش از شکل‌گیری ورق کاغذ، به خمیر کاغذ اضافه می‌شود.

^۱ . tapioca

۲. به عنوان آهار سطحی (بیرونی): پس از تشکیل ورق کاغذ و به واسطه عبور کاغذ از وان (ظرف) آهار تعبیه شده در ماشین کاغذسازی، آهار به صورت لایه‌ای روی سطح کاغذ را پوشش می‌دهد.

۳. در یک آهار امولسیون، به عنوان نشاسته کاتیونی در نقش تثبیت کننده عمل می‌کند (Seppanen, 2007, 3).

ساختار فیبر و نشاسته معمولی، دارای بار منفی (آنیونی) است که با افزودن نشاسته کاتیونی به صورت یک آهار داخلی در خمیر مرطوب کاغذ ماشینی، اتصالات فیبرهای آنیونی با نشاسته کاتیونی برقرار می‌شود. در کاغذهای ماشینی تا به امروز، نشاسته به عنوان یک عامل آহারدهی در کاغذ مورد نظر است. روش آماده‌سازی آن به این صورت است که پودر نشاسته، در یک محلول از آب گرم به همراه یک آنزیم و یا یک عامل اکسید کننده، به جهت بهبود سیالیت این محلول افزوده می‌شود؛ غلظت نشاسته در این روش، حدود ۱۰٪ در یک محلول است (Hubbe, 2004, 147).

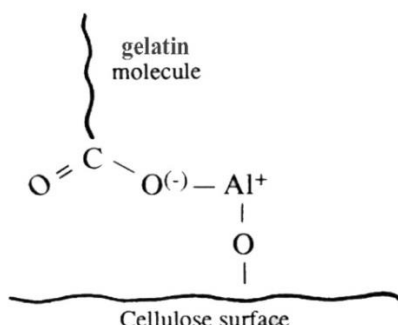
۲-۲- ژلاتین

از آغاز ساخت کاغذ در غرب اروپا، ژلاتین (چسب حیوانی) به عنوان ماده آهار برای این کاغذها در حدود قرن ۱۴ میلادی مورد استفاده قرار گرفت. در واقع ژلاتین دو حالت را ایجاد می‌کرد: اول اینکه خاصیت مقاوم سازی کاغذ در برابر آب را امکان پذیر می‌ساخته و دوم اینکه اثر بافر کنندگی برای این کاغذها ایجاد می‌نموده است. ژلاتین را از جوشاندن پوست و یا استخوان حیوانات در غالب چسب استخراج می‌کرده‌اند و کیفیت (خواص فیزیکی و تفاوت در محتوای اسید آمینه) این چسب وابستگی مستقیم با نوع حیوان (منشأ پروتئین) مورد نظر دارد از آنجا که سریشم نوع ماهی (ماهیان خاویاری یا تاس ماهی) به عنوان یک چسب با کیفیت در آহারدهی این کاغذهای ماشینی شناسایی شده است؛ لذا تا مدت‌های طولانی ژلاتین به عنوان یک ماده آহারدهی در صنعت کاغذسازی جایگاه خود را حفظ نموده است (Dupont, 2002, 113-114).

۲-۳- آلوم-ژلاتین

در حدود قرن ۱۷ میلادی، از ترکیبات آلومینیوم‌دار (آلوم)، به عنوان یک عامل جزء و واسط در آহারدهی مورد توجه قرار گرفته است. اینکه آیا دیگر نمک‌های فلزی نیز در آহারدهی کاغذهای ماشینی کاربرد مشابه داشته‌اند، در بعضی از منابع اشاره شده است که نیز جای تحقیق دارد. الگوی شیمیایی نحوه اتصالات بین ژلاتین و آلوم، آلوم با کاغذ و همچنین ژلاتین نیز احتمالاً مشابه با مکانیزم و الگوی آهار نوع آلوم-کلوفان است. به این مفهوم که آلوم موجود در این نوع آهار، بین ژلاتین و کاغذ، با برقراری اتصالات عرضی نیز پل (لنجر) می‌زند. نقش آلوم در آهار به عنوان یک هاردنر (سخت کننده) برای ژلاتین شناخته شده است. نمک

های آلومینیوم با گروه‌های کربوکسیلیک یونیزه در ژلاتین واکنش نشان می‌دهد که این حالت هیدرولیز شدن ژلاتین را به همراه خواهد داشت (Dupont, 2002, 121).



شکل ۱: نمایش واکنش بین آلوم و ژلاتین و فیبرها در کاغذ

با توجه به نتایج گزارش‌های تحلیلی از مطالعات صورت گرفته در تابستان ۲۰۰۸ میلادی، در زمینه کاغذهای ماشینی کتاب‌های قرن نوزدهم نشان داده شده است که کاربرد ژلاتین به عنوان یک آهار در این کاغذ کاهش یافته و کلوفان به عنوان یک عامل آهاردهی جایگزین در کاغذهای ماشینی شناخته شد و کاربرد عمومی پیدا کرد (Adams et al. 2009, 2).

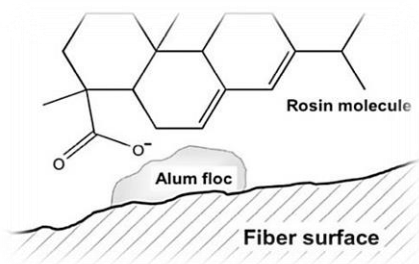
۲-۴- آلوم کلوفان

این ترکیب برای اولین بار در سال ۱۸۰۷ میلادی و در کشور آلمان به عنوان جایگزینی برای آهار آلوم-ژلاتین به جهت کاهش هزینه‌های مصرفی ژلاتین معرفی شد؛ این در حالی بود که پس از گذشت چندین سال و در حدود سال ۱۸۳۵ میلادی، در اکثریت مناطق اروپایی شناخته و سپس کاربرد عمومی پیدا کرد. در واقع هدف اصلی در به کارگیری آلوم-کلوفان در آهار کاغذهای ماشینی در این زمان، به دلیل اصلاح مناسب عیوبی چون: پشت انداختن کاغذ و یا پخش شدن جوهر و در اصطلاح لاتین "ink-feathering" بوده است. این نوع آهار نیز به عنوان مهم‌ترین ماده آهاردهی در کاغذهای ماشینی، به صورت یک آهار داخلی در اواسط قرن ۱۹ میلادی کاربرد عمومی یافت (Walter, 1988, 4). تا قرن بیستم از آهار کلوفان در کاغذهای خمیر چوب مکانیکی همچنان استفاده می‌شد (Dupont, 2002, 114). تا اینکه در حدود سال ۱۹۴۰ میلادی و مطابق با سری بررسی‌های اعمال شده در جهت معیار کیفی، این نوع از آهار به عنوان آهار اسیدی معرفی شد. از اوایل قرن نوزدهم، آلوم و کلوفان اغلب به آهار ژلاتین اضافه شدند تا آنکه بعدها به صورت مستقل ظاهر گردیدند (Connon, 2011, 3).

هر نوع آهار از نوع کلوفان (ترکیب آنیونی)، جهت کاربرد در آهاردهی کاغذ نیازمند یک ترکیب آلومینیوم دار (ترکیب کاتیونی) است؛ از این جهت از ترکیباتی چون سولفات آلومینیوم و یا به صورت امروزی تر PAC

(پلی آلومینیوم کلراید) استفاده می‌شود. در این حالت ترکیبات آلومینیم دار در غالب نمک آلومینیوم فعال، به واسطه یک ترکیب صابونی و با عنوان صابون کلوفان^۱، بر روی فیبرهای کاغذ اتصال لازم را برقرار کرده و در نتیجه اتصالات اولیه برای این نوع از آهار با الیاف کاغذ مقدور می‌شود. در واقع این ترکیبات آلومینیوم دار هستند که به عنوان واسط در اتصال برای کلوفان با ساختار کاغذ، بر فیبرهای کاغذ به صورت یک پیوند الکتروشیمیایی ضعیف، پل (لنجر) می‌زنند. از عیوب این نوع آهار (صابون کلوفان)، نیازمندی به محیط اسیدی ملایم و حدود pH 4-5 می‌باشد (Holik, 2006, 196-197).

به دلیل هیدرولیز آلومینیوم موجود در ساختار آهار آلوم- کلوفان، pH موجود در این آهار بین ۴ و ۵ متغیر است. جایز است که اشاره شود، به دلیل ماهیت آنیونی کلوفان در آহারدهی به جهت اتصال به سطوح آنیونی الیاف کاغذ، نیاز به یک عامل کاتیونی مانند آلوم (ترکیبات آلومینیوم دار) می‌یاشد؛ لذا آلوم موجود می‌تواند با آب، کلوفان و سطوح فیبری نیز اتصال لازم را برقرار کند؛ بنابراین تنها در این شرایط است که امکان برقراری اتصالات آهار کلوفان با فیبرهای سلولز موجود در کاغذ وجود خواهد داشت (Merisalo, 2009, 42).



شکل ۲: نمایش واکنش بین آلوم و کلوفان و فیبرها در کاغذ

فرآیندهای معمول در آহারدهی کاغذهای ماشینی سده نوزدهم با آهار آلوم- کلوفان به شرح زیر است:

۱. اضافه کردن خمیر کاغذ آماده‌سازی شده به محل یا بخش کوبنده.
۲. شستشوی هرگونه چرب شدگی پخت شده قلیایی، سفید کننده‌ها و ضد کلرها.
۳. اضافه نمودن آلوم به عنوان عامل خنثی کننده هرگونه خاصیت قلیایی از پس مانده‌های فرآوری شده و یا آب سخت.
۴. اضافه کردن مقدار آلوم بیشتر به جهت یک عامل تثبیت کننده در آهار، به همراه صابون کلوفان و نشاسته کاتیونی.
۵. کوباندن خمیر به مدت ۳ تا ۵ ساعت.

^۱ . rosin soap

متأسفانه میزان آلوم مضاعف در فرآیند چهارم، منجر به تولید کاغذهایی با خاصیت اسیدی با عنوان کاغذهای اسیدی شده است. (Adams et all. 2009,2). از معایب عمده و متأخر در آهارهای اسیدی برای کاغذهای ماشینی شامل: الف) کاهش استحکام در کاغذ؛ ب) کاهش درخشندگی کاغذ تولیدی؛ ج) ایجاد پیری و یا کهنگی در کاغذ هستند. در منابع اشاره شده است که ناشاسته در خمیر کاغذهای ماشینی سده نوزدهم میلادی به عنوان یک عامل ترکیبی جزء، برای آهار آلوم-کلوفان مورد استفاده قرار گرفته است؛ به این صورت که ابتدا ناشاسته را در مقدار معین و متناسب با حجم مشخص، حل نموده و سپس به صابون کلوفان اضافه می‌شد. در نتیجه کاغذ تولیدی به صورت یک ورق مستحکم‌تر و کم خلل و فرج‌دار (در کمترین حالت اسفنجی)، به صورت یک سطح سخت‌تر بدست خواهد آمد (Adams et all. 2009,2). همچنین اشاره شده است که وجود ناشاسته (ناشاسته کاتیونی) در حضور آهار آلوم-کلوفان، در کاغذهای ماشینی، موجب تغییر رنگ و شکنندگی این نوع از کاغذهای ماشینی خواهد شد (Adams et all. 2009,6). امروزه از مواد پلیمری مصنوعی (سنتزی) در فرآیند آهاردهی کاغذهای ماشینی مانند AKD (۱۹۵۳ میلادی) و ASA (۱۹۷۴ میلادی) و همچنین دیگر مواد به صورت سنتز شده استفاده می‌شود، که همچنین هر کدام با خصوصیات ویژه مورد ارزیابی کیفی قرار می‌گیرند (Dupont,2002,114).

۲-۵- کلوفان

کلوفان یا کلوفون، یک کهربای بی‌بو به رنگ زرد تا قهوه‌ای و به صورت یک توده جامد شفاف و بی‌شکل^۱ است که در دمای ۶۵ تا ۹۰ درجه سانتیگراد، خاصیت نرم شوندگی (گرما نرم) از خود نشان می‌دهد. نا محلول در آب و محلول در اسانس، اتر و روغن‌های چرب می‌باشد. در منابع مختلف نیز از ماده کلوفان^۲، به راتیانه، کولوفون، رزین کولوفونیا و نیز راسین بارها نام برده شده است. درختان تیره کاج (پینوس) مایع غلیظی ترشح می‌کنند که زمانی ترباتین معمولی نامیده می‌شدند؛ برای تهیه کلوفان خیلی خالص، با حرارت دادن روغن ترباتین آن را استخراج می‌کنند (هوری، ۱۶۰، ۱۳۸۷).

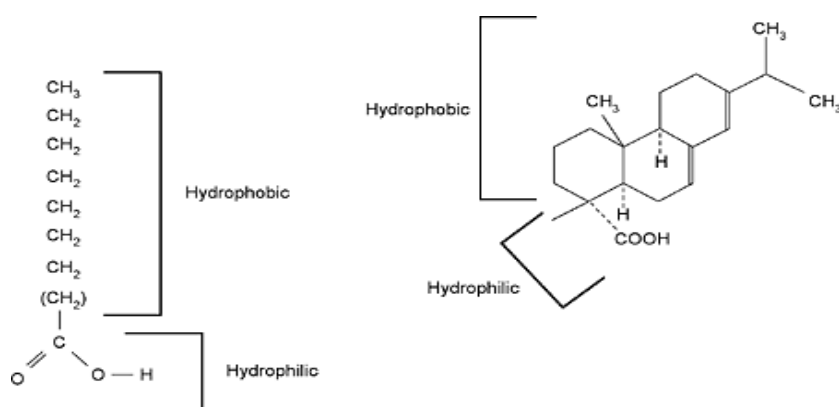
این ماده یکی از قدیمی‌ترین مواد خام مورد استفاده در چسب‌های صنعتی به صورت کلوفان و یا استر کلوفان است. سه نوع کلوفان برای تولید رزین مورد استفاده قرار می‌گیرند: صمغ (چسب) کلوفان، کلوفان چوب، کلوفان روغن گزاف یا زیاد^۳. این رزین‌های کلوفان نیز با رزین‌های هیدورکربنی (آلیفاتیک، آروماتیک، سیکلوالیفاتیک یا سیکلپنتادین) متفاوت است و دارای ساختاری از چند مولکول ترکیبی آمورف هستند (Donker,2001,149). این ترکیب شامل دی‌ترین‌های سه حلقه‌ای از اسیدهای مونوکربوکسیلیک است که

1. amorphous

2. rosin

3. TOR

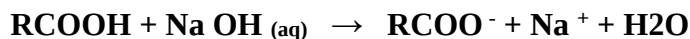
مهمترین این اسیدها نیز شامل اسید آبیتیک^۱ و اسید پیماریک^۲ می‌باشد (دیگر اسیدهای موجود در کلوفان شامل سیلوئیک اسید، تریملیتیک اسید و تریپیک اسید هستند). رزین‌های کلوفان تقریباً دایره وسیعی از سازگاری با دیگر مواد پلیمری را شامل می‌شود و سهم عمده خود را به عنوان چسب حفظ کرده است، ولی در حفظ خاصیت چسبندگی خود نیز ضعیف است (Merisalo, 2009, 41).



شکل ۳: یک مولکول اسید آبیتیک در ساختار کلوفان

هنر موسیقی (ویولن)، داروسازی، آدامس، در ورزش (وزنه‌برداری، دو و میدانی، اسب سواری) و .. هستند. در مجموع، دو روش کلی به جهت استفاده از کلوفان به عنوان عامل آহারدهی کاغذهای ماشینی در غالب ترکیبات آنیونی وجود دارد:

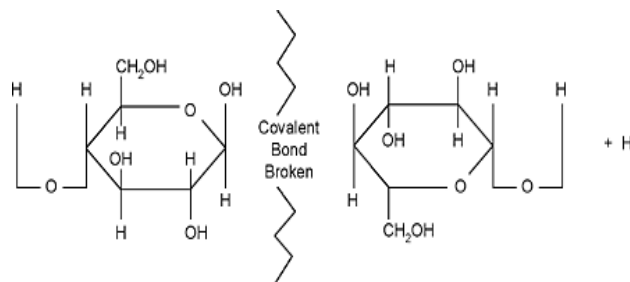
الف) صابون کلوفان^۳ به صورت جوشاندن پودر کلوفان در سودا (کربنات کلسیم و یا سود سوزآور) و یا نمک پتاسیم^۴، به جهت انحلال‌پذیری کلوفان در آب، که آهار صابونی نام گرفته است (Adams et all. 2009, 2). یک مثال با فرمول از آهار کلوفان صابونی شده با سود:



ب) به صورت امولسیون از اسید آزاد و با استفاده از کازئین کاتیونی در ترکیب با کلوفان (Merisalo, 2009, 42).

1. abietic acid
2. pimaric acid
3. soap size
4. kalium

اسید موجود در کلوفان استعداد اکسیده شدن دارد که در نتیجه تشکیل اسید هیدروآبتیک و سپس ۷-اکسودهیدروآبتیک را می‌دهد. اکسایش سریع کلوفان نیز موجب زرد و حساس شدن رزین در برابر آب خواهد شد (هوری، ۱۳۸۷، ۱۶۰). در واقع آهار کلوفان مورد استفاده در کاغذ، میزان جذب اشعه نور UV را افزایش می‌دهد که در نتیجه، این فرآیند موجب زردشدگی هرچه بیشتر در آن کاغذ خواهد شد (Holik, 2006, 187).



شکل ۴ - نمایش نحوه وقوع هیدرولیز ساختمان سلولز در کاغذ

۲-۶- آلوم

در منابع مختلف و در طول تاریخ نیز از آلوم با عناوینی مانند: زاج، زاج سفید، رزینات آلومینیوم^۱ هنگامی که در آهار کلوفان استفاده می‌شود نیز تشکیل می‌شود، بارها یاد شده است. همانطور که پیش‌تر هم به آن اشاره شد، از آلوم با منابعی مانند: سولفات آلومینیوم و پلی آلومینیوم کلراید^۲ و .. بهره گرفته می‌شود. در صنعت کاغذسازی ماشینی، از این ماده به علت گستره کاربردی آن در این صنعت نیز به نام دوست کاغذسازان نام برده می‌شده است. در جهت کاربرد کلوفان به عنوان آهار برای کاغذهای ماشینی، از آلوم با توجه به ماهیت آنیونی بودن کلوفان، به عنوان یک ماده کاتیونی و مکمل برای اتصال کلوفان به الیاف آنیونی، استفاده می‌شود (Merisalo, 2009, 49). از مزایای کاربرد آلوم به عنوان ترکیبی شناخته در آهاردهی کاغذهای ماشینی (سده ۱۹ میلادی) می‌توان اشاره کرد به: ایجاد خاصیت آبگریزی در کاغذ، عامل مکمل در خروج هرچه سریع‌تر آب از الیاف کاغذ در جهت خشک شدن و در نتیجه افزایش سرعت تولید و از همه مهم‌تر عاملی واسط (میانجی) در برقراری اتصالات مولکولی بین عوامل اصلی آهار و الیاف کاغذ نیز می‌باشد (Hubbe, 2004, 141). ترکیبات آلومینیومی نیز پس واکنش با کلوفان بر روی الیاف، تشکیل یک فیلم آلومینیومی با عنوان رزینات آلومینیوم می‌دهد و در واقع این شروع یک فرآیند کند در تخریب ساختار فیبری این کاغذها است.

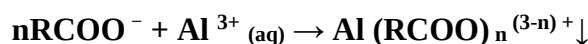
علل کاربرد آلوم به عنوان ترکیبی برای آهاردهی کاغذهای ماشینی به قرار زیر است:

^۱ . Al-resinate

^۲ . PAC

۱. کنترل ویسکوزیته ژلاتین و یا کلوفان در دما و غلظت‌های متغیر.
۲. عامل پیشگیری از حیات عوامل بیولوژیکی (قارچ و کپک).
۳. کاهش نفوذپذیری سیال نوشتاری در نسج کاغذ به دلیل خاصیت مقاوم به آب بودن آلوم.
۴. عامل میانجی در برقرارسازی اتصالات و پیوندهای مولکولی بین عامل آهار و الیاف کاغذ.

در یک فرآیند شیمیایی از آلوم، کلوفان و نیز الیاف کاغذ، بخش آبگریز (هیدروفوبیک) در مولکول اسیدی کلوفان، به جهت بیرونی/سطح الیاف تمایل پیدا می‌کند که منجر به ویژگی آبگریزی آهار میشود. در مقابل، سطح آبدوست (هیدروفیلیک) مولکول کلوفان در یک واکنش با آلوم در ارتباط بوده و در ادامه، آلوم با گروه‌های هیدورکسیل موجود در ساختمان سلولز بر روی الیاف نیز اصطلاحاً لنگر (پُل) می‌اندازد تا اتصال آهار با الیاف برقرار شود. نتیجه ترکیب بین یک یون صابون کلوفان با یک یون آلومینیوم، شامل ایجاد رسوب نمک آلومینیوم (رزینات آلومینیوم) در سطوح جامد کاغذ است (Hubbe, 2004, 142):



۳- عوامل آهار سنتزی

از حدود سال ۱۹۴۹ میلادی، مواد دیگری در فرآیند آহারدهی کاغذهای ماشینی کاربرد پیدا کرد؛ با این تفاوت که این مواد به صورت سنتزی از رزین‌های پلیمری مصنوعی تهیه می‌شوند (Henry, 1988, 5). دلایل زیادی وجود دارد که چرایی ورود و کاربرد این مواد را در آহারدهی کاغذ ماشینی نیز مشخص می‌کند؛ از مهم‌ترین و واضح‌ترین این دلایل، اصلاح و بهبود کاغذهای اسیدی و بدون کیفیت (که مخرب کاغذ بودند) و تولید کاغذهای غیر اسیدی و همچنین عدم پاسخگویی کمی مواد طبیعی در مقابل افزایش بازده تولید کاغذهای ماشینی در این دوران (حدود سال ۱۹۵۲ و ۱۹۵۴ میلادی) بوده است.

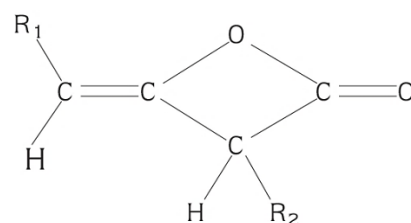
همانطور که پیش‌تر هم ذکر شد، عوامل آهار اسیدی نیز معایب فساد کاغذ را افزایش دادند و همچنین اشاره شد که آلوم به عنوان یک ترکیب آهار (ژلاتین و کلوفان) در کاغذهای ماشینی، شرایط تخریب کاغذ را فراهم کرده بود. تحقیقات متعدد انجام شده توسط گروه‌های پژوهشی به منظور توسعه ترکیبات مواد آহারدهی جدید و همچنین اصلاح و بهینه سازی آهار نوع کلوفان (به جهت خواص ذاتی اسیدی و معضلات متأخر ایجاد شده ناشی از کاربرد آن در آহারدهی کاغذهای ماشینی سده نوزدهم میلادی) و به هدف کاربرد مؤثر آن، تحت عنوان تولید مواد آহারدهی غیر اسیدی، باعث شد که مواد سنتزی در صنعت کاغذسازی ماشینی پا به میان بگذارند (Hamzeh et al. 2008, 4302). این روش با عنوان آহারدهی خنثی و یا کمی قلیایی، محدوده pH حدود ۷ الی ۱۰ را شامل می‌شود (Karademir, 2002, 253). در یک تقسیم‌بندی مستقل می‌توان از آهار در کاغذهای ماشینی، در دو بخش آهارهای اسیدی و آهارهای قلیایی سخن به میان

آورد: آهارهای اسیدی^۱ نیز آهارهای دوران اولیه کاغذهای ماشینی بودند که از یک نمونه شاخص با عنوان آهار نوع کلوفان می‌توان نام برد و همچنین آهارهای نوع خنثی یا کمی قلیایی^۲ مانند رزین‌های قلیایی AKD و ASA و SA و .. می‌شود اشاره نمود.

از معایب عمده این رزین‌های قلیایی، هزینه بالای آن‌ها است. از جمله متداول‌ترین این مواد سنتزی، می‌توان به آلکیل کتن دایمر (AKD)، آلکیل ساسنیک انیدرید (ASA)، استئاریک انیدرید (SA) اشاره کرد (Walter, 1988, 5-6). واکنش‌پذیری این مواد به عنوان عوامل آهاردهی داخلی در کاغذسازی ماشینی نیز با گروه‌های هیدروکسیل موجود در سلولز (بخش قطبی در سلولز) کاغذ است (Seppanen, 2007, 1).

۳-۱- آلکیل کتن دایمر (AKD)

آلکیل کتن دایمر از منابع اسیدهای چرب خطی طبیعی شامل اسید استئاریک و پالمیتین^۳ به شکل کلریدهای اسید با زنجیره کربن طولانی ساخته شده است؛ این پلیمر در دمای اتاق به شکل موم مانند، غیر قابل حل در آب و با نقطه ذوب 40-60 درجه سانتیگراد، عامل اصلی در آهارهای خنثی و کمی قلیایی است (Karademir, 2002, 253).



شکل ۵: یک ماکرو مولکول از آلکیل کتن دایمر

این پلیمر مصنوعی، نتیجه تلاش‌های توسعه‌ای از محصولات اواخر دهه ۴۰ از سده نوزدهم میلادی در صنعت کاغذسازی ماشینی است. پلیمر آلکیل کتن دایمر نیز در فرآیند آهاردهی به واسطه یکنواخت‌سازها در فشار و دمای زیاد، به صورت یک امولسیون و یا سوسپانسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک محدوده از pH مناسب برای این پلیمر در آهاردهی کاغذهای ماشینی، ۷ الی ۱۰ است. این پلیمر در حالت دیسپرسیونی، به صورت کلوئیدهای تثبیت شده الکترواستاتیکی رفتار می‌کنند. از نشاسته کاتیونی (معمولا نشاسته ذرت و یا سیب‌زمینی) و یا یک پلی الکترولیت کاتیونی به عنوان عامل تثبیت کننده در این رابطه

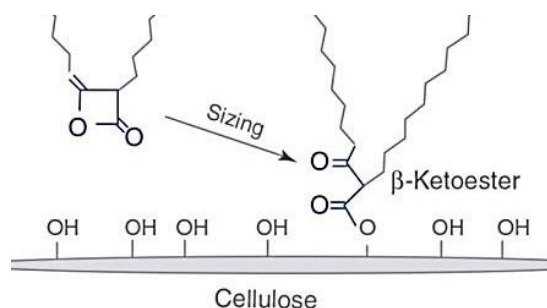
۱. acidic size

۲. Neutral-alkaline

۳. palmitin

استفاده می‌شود. حلقه لاکتون موجود در ساختمان ماکرومولکول پلیمر AKD نیز می‌تواند با سلولز و آب واکنش نشان دهد. آلکیل کتن دایمر در آহারدهی کاغذهای ماشینی معمولاً با پرکننده‌هایی چون PCC (کربنات کلسیم رسوب داده شده)، سولفات کلسیم، کائولن، خاک رس و یا اکسید تیتانیوم به جهت کسب ویژگی‌هایی چون افزایش روشنایی در کاغذ و همچنین به عنوان یک معیار اقتصادی در صرفه‌جویی مواد مصرفی نیز همراه است (Karademir, 2002, 258).

کتون در ساختمان این پلیمر قادر است با گروه‌های OH موجود در سلولز واکنش نشان دهد؛ چه بسا این حالت مبنای کاربرد پلیمر AKD به عنوان یک عامل آহারدهی در کاغذهای ماشینی قرار گرفته است. (Lindstrom, 2008, 202-203). همچنین دیگر پلیمرها مانند پلی اکریل‌آمید به عنوان یک تثبیت کننده مناسب مطرح می‌شود (Merisalo, 2009, 41). به طور کلی، همانگونه هم که در بعضی از منابع به آن اشاره شده است نیز اعتقاد بر این است که AKD در جهت ساخت کاغذهای ماشینی آگریز (مقاوم در برابر آب) با الیاف سلولز به شکل یک باند استر^۱ بتا کتو واکنش نشان می‌دهد و این در حالی است که این باند نیز با مولکول‌های آب تولید اسید بتا کتو ناپایدار داده و در نتیجه دی کربوکسیلات‌ها به صورت یک کتون با آب و الیاف سلولزی نیز واکنش نشان می‌دهد (Karademir, 2002, 254).



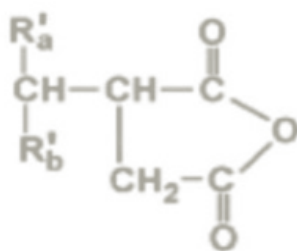
شکل ۶: نمایش نحوه واکنش بین پلیمر AKD با فیبرها در کاغذ

۳-۲- آلکیل ساسنیک انیدرید (ASA)

پلیمر مصنوعی ASA به صورت یک پلیمر شاخه‌دار، کاربرد مشترکی با نوع AKD داشته و به لحاظ تقسیم‌بندی نیز از اقسام خانواده آهارهای خنثی و کمی قلیایی (از نوع AKD خاصیت قلیایی کمتر دارد) به روش آهار داخلی در کاغذسازی ماشینی است. این محصول پلیمر برای اولین بار در آহারدهی کاغذهای ماشینی، در حدود سال ۱۹۷۴ میلادی در نظر گرفته شد و در سال ۱۹۸۰ میلادی در صنعت کاغذسازی ماشینی نیز

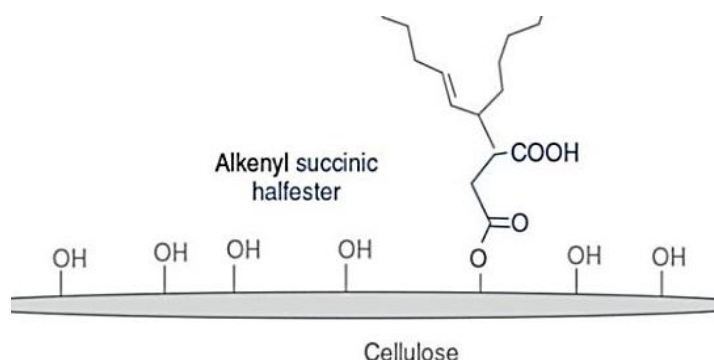
^۱ . beta-keto ester bond

استفاده گسترده‌ای یافت. این پلیمر در یک حالت امولسیون با نشاسته کاتیونی (به عنوان تثبیت کننده)، در آهاردهی کاغذ ماشینی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۷: یک ماکرو مولکول از آلکنیل ساسنیک انیدرید

این پلیمر نیز شامل یک حلقه انیدرید پنج عضوی و یک زنجیره خطی از ۱۴ الی ۲۰ گروه CH_2 است که ایزومرهای مختلف آن در آهاردهی کاغذهای ماشینی کاربرد دارند. ویژگی قابل توجه ASA (در حالت امولسیون) نسبت به AKD واکنش پذیرتر بودن آن با آب و الیاف کاغذ است؛ و همچنین میزان دوام و پایداری آلکنیل ساسنیک انیدرید به عنوان آهار در کاغذهای ماشینی نسبت به آلکیل کتن دایمر بسیار کمتر می‌باشد (Hubbe, 2004, 147). این پلیمر با آب واکنش داده و هیدرولیز می‌شود (دما و pH بالا با افزایش سرعت این هیدرولیز رابطه مستقیم دارد) و در نتیجه نیز تشکیل اسید دی‌کربوکسیلیک می‌دهد؛ این اسید حاصل شده، در حضور کلسیم و یا منیزیم نیز تشکیل ترکیب چسبناکی از نمک‌های دی-کربوکسیلیک اسید خواهد داد.



شکل ۸: نمایش نحوه واکنش بین پلیمر ASA با فیبرها در کاغذ

۳-۳- استئاریک انیدرید (SA)

این نوع پلیمر به صورت مواد مشتق شده نفتی و از خانواده پلیمرهای مورد استفاده در آهار کاغذهای ماشینی با تکنیک آهاردهی داخلی است. همچنین نیز با الیاف و آب در آهار کاغذ، نسبت به دیگر انواع پلیمرهای ذکر شده از این خانواده (تکنیک داخلی)، واکنش‌پذیری بالاتری دارد. استئاریک انیدرید در کنار آلوم و در pH اسیدی (در حدود 5) و قلیایی بادوام و سازگار است (Henry, 1988, 5).

۳-۴- دیگر عوامل آهاردهی سنتزی

در آهاردهی کاغذهای ماشینی، دیگر عوامل پلیمری نیز دخیل هستند؛ با این تفاوت نسبت به پلیمرهای پیشین که این گروه از پلیمرها با تکنیک آهاردهی سطحی در این کاغذها کاربرد دارند. این عوامل معمولاً به صورت عوامل خاص به روش پایانه‌تر^۱ و یا همچنین در ترکیب با دیگر عوامل آهاردهی داخلی (درونی)، بسیار کاربرد دارند. این پلیمرها به صورت یک خانواده از کوپلیمرهای استایرن هستند که در واقع مونومرهای آنها همانند بلوک‌های مسدود کننده، ویژگی آگریز دارند. گاهی اوقات از این پلیمرها در ترکیبی از پلیمرهای آهار داخلی استفاده می‌شود. وابسته به نوع مونومر حاضر در واکنش و فناوری تولید در آنها، این پلیمرها به دو گروه اصلی تقسیم بندی می‌شوند (Holik, 2006, 204):

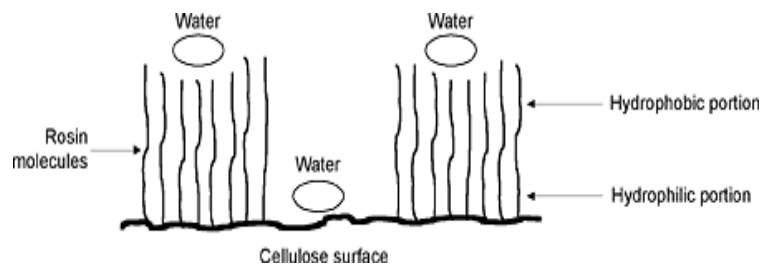
۱. انیدرید مالئیک استایرن‌ها (SMA)

۲. استر اکریلیک استایرن‌ها (SAE)

۴- تکنیک‌های اصلی در آهاردهی

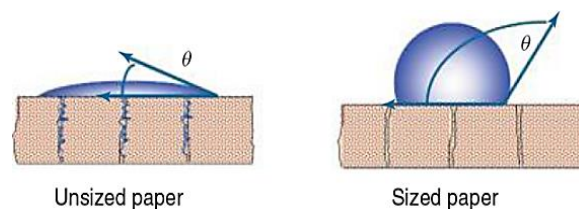
همانطور که پیش‌تر نیز اشاره شد، معیار واکنش و ایجاد خصوصیات آگریز یا هیدروفوبیکی در کاغذها، به جهت قرارگیری بخش‌های هیدروفوبیک مواد پلیمری مورد استفاده برای آهار نسبت به سطوح خارجی کاغذ است که این شرایط باعث خواهد شد که این پلیمرها به عنوان یک بلوک مسدود کننده، مانع از نفوذ آب به سطوح درونی کاغذ شود، به این صورت که اتصال بخش‌های آبدوست و یا هیدروفیلیک موجود در ساختار مونومری پلیمرهای مورد استفاده در آهاردهی، به همراه یک ماده واسطه کاتیونی (در آهار نوع آلوم- کلوفان و آلوم- ژلاتین نیز آلوم به عنوان یک ماده واسطه) و یا ترجیحاً به صورت یک ماده مستقل (ویژگی پلیمرهای سنتزی)، به ساختار آنیونی فیبرهای سلولزی در کاغذها، به این فرآیند جامه عمل می‌پوشاند.

^۱ . Wet-End



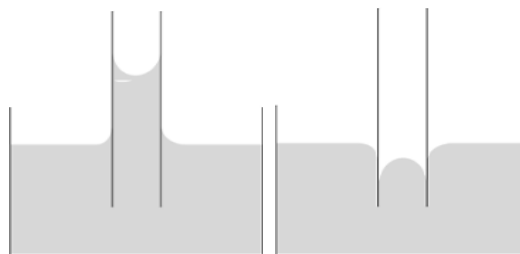
شکل ۹: نمایش بخش آبگریز و آبدوست در مولکول کلوفان روی کاغذ

تئوری‌های متفاوتی در رابطه با خواص آهاردهی در کاغذها مطرح شده است، از جمله نظریه زاویه تماس آب در سطوح فیبری کاغذهای آهاردار که این در رابطه با ویژگی کشش سطحی آب در تماس با الیاف کاغذ نیز رابطه مستقیم دارد به این صورت که هرچه این زاویه بیشتر باشد، کشش سطحی آب در الیاف بیشتر و در نتیجه نفوذپذیری آب در بافت کاغذ به مراتب کمتر خواهد شد (Henry, 1988, 8).



شکل ۱۰: رابطه زاویه تماس آب با میزان نفوذپذیری سیال آبی روی کاغذ

همچنین هرچه میزان موئینگی در کاغذ (مرتبط با تخلخل و خلل و فرج موجود در کاغذ) توسط فرآیند آهاردهی کمتر شود نیز کشش سطحی آب (نفوذپذیری آب) برای کاغذ بیشتر خواهد شد؛ پس در نتیجه کشش سطحی آب در کاغذ با میزان موئینگی در جذب آب کاغذ رابطه معکوس دارد. با این تفاسیر مشخص است که انتخاب نوع مواد آهار، روش‌ها و تکنیک‌های اجرایی در آهاردهی کاغذها و مخصوصاً در کاغذهای ماشینی، در ارتباط با ایجاد شرایط مناسب در جهت ایجاد خصوصیات موئینگی و کشش سطحی برای کاغذ نیز بسیار حائز اهمیت خواهند بود.



شکل ۱۱: نمایش خواص موئینگی و کشش سطحی آب در کاغذ
راست: وضعیت آهار دار؛ چپ: وضعیت بدون آهار

در صنعت کاغذسازی ماشینی، کاربرد مواد آهاردهی نیز به دو شیوه یا تکنیک قابلیت اجرایی دارند:

- الف) آهاردهی به شیوه داخلی یا درونی: در خمیر مرطوب کاغذ و پیش از تشکیل ورق کاغذ.
ب) آهاردهی به شیوه سطحی و یا بیرونی: به صورت یک لایه سطحی و پس از تشکیل ورق کاغذ.

۴-۱- آهاردهی درونی

هدف از آهاردهی داخلی در صنعت کاغذسازی، ایجاد یک مانع قدرتمند برای نفوذ و گسترش مایعات و سیالات، از طریق اصلاح سیستم خلل و فرج در کاغذ است (Seppanen, 2007, 1). همچنین اشاره شده است که به جهت کاهش خاصیت ترشوندگی^۱ در کاغذهای ماشینی از این روش بهره گرفته می‌شود (Henry, 1988, 8). از جمله مواد پلیمری مورد استفاده و معمول در آهاردهی به روش داخلی و یا درونی در تولید کاغذهای ماشینی، کلوکان (راسین یا راتیانه)، آلکیل کتن دایمر و همچنین آلکیل ساسنیک انیدرید و استتاریک انیدرید نیز کاربرد دارند.

چهار ویژگی اصلی مورد نیاز برای مواد پلیمری در آهاردهی کاغذ با تکنیک داخلی یا درونی:

- الف) آبگریزی بالا داشته باشند
ب) احتباس و نگهداری از الیاف کاغذ
ج) برقراری پیوند مناسب با الیاف کاغذ
د) توزیع یکنواخت در بدنه و بافت کاغذ.

۴-۲- آهاردهی سطحی

با ایجاد یک فیلم نازک بر روی سطح کاغذ تکمیل شده، فرآیند آهارزنی تکمیل می‌شود. با تشکیل این لایه نیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سطح کاغذ تغییر می‌کند. روش‌های متفاوتی در این تکنیک استفاده می‌شود و از جمله: آهار پرس^۲، اسپری^۳، پایانه‌تر^۴ و پوششی^۵ و .. می‌باشد (Henry, 1988, 9). مهم‌ترین هدف و مقصود از کاربرد آهار سطحی یا بیرونی در کاغذهای ماشینی، معمولاً به جهت افزایش مقاومت سطحی آن کاغذ است (Hubbe, 2004, 147). از جمله عوامل آهاردهی سطحی برای کاغذهای ماشینی، ژلاتین و نشاسته، SAE، SMA، EAA، PUD، SAA، AEP و .. نیز هستند.

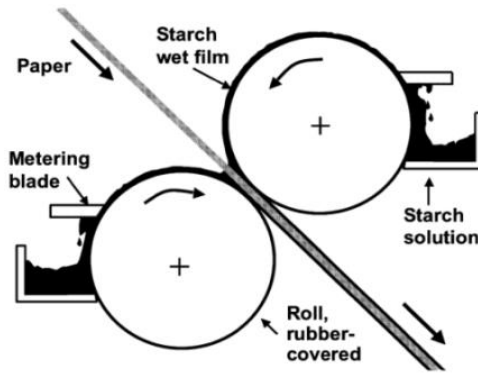
1. Wet-tability

2. Size press

3. Spray

4. Wet-end

5. Coating



شکل ۱۲: نمایش فرآیند آهاردهی کاغذ ماشینی با تکنیک سطحی

دو ویژگی اصلی مورد نیاز برای مواد پلیمری در آهاردهی کاغذ با تکنیک سطحی یا بیرونی:

- الف) بهبود استحکام سطح کاغذ
- ب) چاپ‌پذیر (تحریرپذیر) کردن سطح کاغذ.

۵- نتیجه‌گیری

آهار و آهاردهی، عنوان و فرآیندی مهم در صنعت کاغذسازی است که هدف از اجرای این عمل، ایجاد مقاومت به جذب یا نفوذ سیالات بویژه آب در سطح کاغذهای تولیدی است. ماده آهاردهی، به واسطه نوع و هدف از تولید کاغذ در صنعت کاغذسازی از منابع گوناگون تأمین و تهیه می‌شوند که از زمان‌های گذشته تا به امروز نیز مواد متفاوتی در این رابطه مورد مصرف داشته است. این مواد شامل موادی طبیعی مانند: نشاسته، چسب‌های حیوانی (ژلاتین)، شکر، دکستروز، صمغ عربی، روغن دانه کتان، کتیرا، تخم مرغ، رزین-های گیاهی مانند دامار و ماستیک یا کندر رومی و نیز دیگر مواد مشابه بوده‌اند.

با گذشت زمان و افزایش نیازمندی به کاغذ و همچنین پس از ابداع ماشین کاغذسازی نیز تنوع در انتخاب و کاربرد مواد بیش از پیش فزونی یافت که در نتیجه مواد با منابع مختلف و مخصوصاً مواد معدنی و متأخرتر مواد سنتزی مورد توجه بسیار قرار گرفتند. در این میان مواد طبیعی دیگر به دلایل مختلف همچون مقوله اقتصادی و دامنه گسترده نیازمندی بشری و نیز اهمیت صرف زمان، جایگزین شدند از این مواد ماده کلوفان بیشترین توجه را به خود معطوف ساخت. پیش از کاربرد کلوفان در تولید کاغذ ماشینی، ژلاتین در ترکیبی از ترکیبات آلومینیوم‌دار مورد استفاده کاغذسازان بود.

در سال‌های حدود ۱۸۴۷ میلادی بود که کلوفان به عنوان جایگزینی مناسب برای ژلاتین محسوب شد و در مخلوطی از ترکیبات آلومینیوم‌دار و با عنوان آهار آلوم-کلوفان وجه کاربردی فراوان یافت. اما این تنها یک مزیت نبود بلکه پس از گذشت حدود یک قرن پژوهشگران مبنی بر تحقیقات خویش بر وجوه آسیب‌رسان این ترکیب آهار واقف شدند و آهار نوع کلوفان را به عنوان آهار اسیدی و کاغذ تولیدی حاصل

از آن را به نام کاغذ اسیدی خطاب کردند؛ بنابراین برآن شدند که ترکیباتی جایگزین برای این نوع آهار اسیدی بیابند. در حدود سال‌های ۱۹۵۰ میلادی، پژوهشگران ترکیباتی را به جهت جایگزین نمودن برای آهار نوع اسیدی پیشنهاد دادند و از آن‌ها به عنوان ترکیبات خنثی و تا کمی قلیایی و آهار و کاغذ تولیدی از این ترکیبات را آهار یا کاغذ خنثی- قلیایی نامیدند. معیار و منطق اصلی از این جایگزینی نیز تولید کاغذهایی با خواص کنترل شده و البته پایان دادن به مسیر تولید کاغذهای بی دوام اسیدی بود. از جمله ابتدایی‌ترین و مهمترین این ترکیبات: پلیمرهایی سنتزی خنثی تا کمی قلیایی هستند و به ترتیب زمان کاربرد نیز شامل انواع پلیمرهایی چون: آلکیل کتن دایمر (AKD)، استئاریک انیدرید (SA)، آلکیل ساسنیک انیدرید (ASA)، انیدرید مالئیک استایرن‌ها (SMA)، استر اکریلیک استایرن‌ها (SAE)، SAE، SMA، EAA، PUD، SAA، AEP و .. هستند.

بایستی اضافه شود که از زمان در نظر گرفتن این نوع آهارهای ذاتاً خنثی نیز ترکیبات و مواد طبیعی که در گذشته کاربرد داشته‌اند امروزه به عنوان جزئی از ترکیبات آهار برای کاغذهای ماشینی همچنان کاربرد داشته و دارند؛ از جمله این مواد طبیعی مانند نشاسته که در ترکیب با مواد سنتزی همچون AKD و ASA کاربرد دارد. از روش‌ها و تکنیک‌های رایج در کاغذهای ماشینی، دو روش آهاردهی داخلی^۱ و آهاردهی سطحی^۲ است که در این میان AKD و ASA و SA با تکنیک داخلی همراه هستند و تقریباً دیگر پلیمرها به روش سطحی یا بیرونی استفاده می‌شوند.

۶- منابع

- گوپتا، آر.سی، و رانبر کیشور و سی.بی گوپتا (۱۳۶۹). ترمیم و نگهداری اسناد و مواد کاغذی. ترجمه: عابدی استاد، عباسعلی. مشهد: کتابخانه مرکزی آستان قدس رضوی.

- Seppanen, rauni.2007. On the internal sizing mechanisms of paper with AKD and ASA related to surface chemistry, wettability and friction. Sweden: Institute for Surface Chemistry (YKI).

- Cannon, alice. 2011. Interactions between Adhesives from Natural Sources and Paper Substrates. Proceedings of Symposium (Adhesives and Consolidants for Conservation).pp 1-15.

- Adams, morgan, cathleen a. baker, and shannon zachary. 2009. Sizing in Nineteenth-Century Book Papers. The Book and Paper Group Annual (28). pp 1-6.

- Karademir, arif. 2002. Quantitative Determination of Alkyl Ketene Dimer Retention in Paper Made on a Pilot Paper Machine. TUBITAK Academic Journals. pp 253-260.

^۱ . Internal sizing

^۲ . Surface sizing

- Hubbe, martin. 2004. Acidic and Alkaline Sizings for Printing, Writing, and Drawing Papers. *The Book and Paper Group Annual* (23). pp 139-151.
- Dupont, anne Laurence. 2002. Study of the degradation of gelatin in paper upon aging using aqueous size-exclusion chromatography. *Journal of Chromatography*. pp 113–124.
- Holik, Herbert. 2006. *Handbook of Paper and Board*. Germany: Wiley-VCH.
- Henry, Walter, et al. 1988. Sizing-resizing. Chapter 17. In *Paper Conservation Catalog*. Washington D.C: American Institute for Conservation Book and Paper Group.
- Lindstrom, Tom, and Per Tomas Larsson. 2008. Alkyl Ketene Dimer (AKD) sizing: a review. *Nordic Pulp and Paper Research Journal* (2). pp 202-209.

* * *



مروری بر بررسی‌های باستان‌سنجی و ساختارشناسی سفال‌های نخودی شهر سوخته سیستان

یاسین صدقی^{*۱}

فرح‌انگیز صبوحي ثاني^۲

۱- کارشناس ارشد باستان‌سنجی، اداره حفاظت و مرمت، موسسه فرهنگی موزه‌های بنیاد، تهران، ایران
(sedghi.yassin@gmail.com)

۲- کارشناس ارشد حفاظت و مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، گروه مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران
(farahangiz.sabohi@gmail.com)

چکیده

یکی از مهم‌ترین و پربحث‌ترین موضوعات باستان‌شناسی جنوب‌شرق ایران که در چند سال اخیر پژوهشگران بسیاری به آن پرداخته‌اند مطالعه و بررسی‌های فنی و ساختارشناسی سفالینه‌های نخودی رنگ مکشوف از محوطه‌ی شهر سوخته سیستان در قالب طرح مطالعات باستان‌سنجی سرامیک است. متأسفانه به علت عدم هماهنگی‌های لازم بین موسسات و پژوهشگران مختلف شاهد انتشار حجم زیادی پژوهش در این زمینه بوده‌ایم. این مطالعات باستان‌سنجی بر روی سفال‌های نخودی شهر سوخته با هدف‌های مختلفی همچون منشأیابی و تکنولوژی ساخت آنها با روش‌های آزمایشگاهی همچون پتروگرافی، SEM-EDX، XRD و XRF انجام شده است. تمام این پژوهش‌ها نتایج یکسانی را همچون سفال‌هایی با منشأ بومی و استفاده از خاک‌های آبرفتی و غیره ارائه نموده‌اند، که همچنان این پژوهش‌های پرهزینه ادامه دارد. حال به منظور تحلیل نهایی این موضوع سعی شده است تا در این مقاله با ارائه و کنار هم قرار دادن این نتایج که سراسر مشابه هم بوده به یک دید کلی و جمع‌بندی نهایی رسید. نقد و بررسی این موضوع کما اینکه می‌تواند یک بحث مروری و نیز به شناختی جامع از این موضوع کمک نماید، از سمتی دیگر می‌تواند از صرف انرژی، هزینه و وقت بی‌موردی که پژوهشگرانی که قصد تحقیق در این زمینه را در آینده دارند جلوگیری کند.

واژگان کلیدی: سفال نخودی، ساختارشناسی، باستان‌سنجی، شهر سوخته سیستان

An Overview of the Archaeometrical and Structural Studies of the Buff Potteries in the Shahr-i Sokhta (Sistan and Balouchistan)

Yasin Sedghi*, Farahangiz Sabouhi-Sani

Abstract

One of the most important and controversial archaeological topics in southeastern of Iran which has been addressed by many researchers in the form of ceramic archaeological studies in recent years, is the technical and structural studied of buff pottery that is discovering in the Shahr-i Sokhta of Sistan. Unfortunately, due to the lack of coordination among institutions and researchers, we have witnessed the publication of a large amount of research in this subject. These archaeometrical studies have been performed on this type of pottery for specific purposes such as their origin and manufacturing technology by Petrographic, SEM-EDX, XRD and XRF methods. All of these studies have presented the same results, such as native origin of pottery, the use of alluvial soil and etc. These costly researches are still going on and in this article attmpt have been made by presenting and putting together these similar results in order to reach a final conclusion. Reviewing this topic could help to gain comprehensive understanding of this subject.

Keywords: Local pottery, buff pottery, structural, archaeometry, Shahr-i Sokhta

۱- مقدمه

سفال و سفالگری یکی از مهم‌ترین صنایع و هنرها در محوطه پیش از تاریخی شهر سوخته‌ی سیستان بوده است به‌گونه‌ای که حجم بسیار زیادی از این آثار را می‌توان در سطح محوطه مشاهده نمود. همچنین این ماده فرهنگی یکی از بیشترین آثاری است که در حفاری‌های باستان‌شناسی این محوطه اعم از بخش مسکونی، صنعتی، گورستان و محوطه‌های اقماری آن به‌دست آمده است. سفال‌های به‌دست آمده از شهر سوخته را می‌توان به سفالینه‌های نخودی رنگ، قرمز رنگ و خاکستری رنگ تقسیم‌بندی نمود. از طرفی این سفال‌ها را می‌توان در قالب سفال‌های ساده و بدون رنگ، سفال‌های تک رنگ و سفالینه‌های چند رنگ تقسیم‌بندی کرد. سفالینه‌های نخودی رنگ به‌دست آمده از شهر سوخته که به عنوان سفال‌های بومی و ساخته شده در کارگاه‌های سفالگری شناخته می‌شوند دارای طرح‌ها، فرم‌ها و نقوش مختلفی هستند. یکی از موضوعات بسیار مهم که برای باستان‌شناسان و باستان‌سنج‌ها در طی سالیان متعدد بسیار حایز اهمیت بوده است، شناخت منشأ، تکنیک ساخت و نحوه‌ی فناوری‌های تولید سفال‌های به‌دست از این محوطه بوده است. درهمین‌راستا بسیاری از پژوهشگران داخلی و خارجی در مؤسسات و دانشگاه‌های مختلف به تحقیق و پژوهش در زمینه سفال و سفالگری در شهر سوخته پرداخته‌اند. اما موضوع بسیار مهمی که در این زمینه وجود دارد این است که بسیاری از این پژوهشگران مطالعات و تحقیقات دیگری را نادیده گرفته‌اند و دوباره خود مجدداً به تحقیق در موضوع باستان‌سنجی سرامیک و سفال‌های شهرسوخته به‌ویژه سفال‌های نخودی رنگ شهر سوخته پرداخته‌اند. این موضوع نه تنها باعث هدر رفتن وقت، انرژی و هزینه می‌شود، بلکه موضوعی تکراری را پیش برده و هیچ سودی برای باستان‌شناسی شهر سوخته و ایران نخواهد داشت. به‌همین جهت در این مقاله سعی شده است تا با مرور و کنار هم قرار دادن منابع و پژوهش‌های انجام شده بر روی سفالینه‌های شهر سوخته، به این موضوع و پرسش باستان‌سنجی سرامیک خاتمه دهد تا پژوهشگران به سراغ دیگر پرسش‌های باستان‌سنجی و باستان‌شناسی در شهر سوخته که کمتر یا اصلاً به آنها پرداخته نشده است بروند.

۲- پیشینه مطالعات سفال شهر سوخته

پیشینه پژوهشی مقاله حاضر را می‌توان در سه گروه تقسیم‌بندی و تحلیل نمود.

- ۱- پایان‌نامه‌های پژوهشی انجام شده در مؤسسات و دانشگاه‌های مختلف بر روی سفال‌های نخودی، خاکستری و قرمز به‌دست آمده از شهرسوخته، که مهم‌ترین این تحقیقات را می‌توان در گروه مرمت آثار تاریخی و باستان‌شناسی دانشگاه زابل، گروه مرمت دانشگاه هنر، دانشگاه آزاد و گروه باستان‌شناسی دانشگاه تهران، گروه مرمت دانشگاه اصفهان، گروه باستان‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان و غیره مشاهده نمود.
- ۲- گروه دومی که می‌توان به آن اشاره نمود، مطالعات و پژوهش‌های محققان علوم مختلف در زمینه‌ی باستان‌سنجی سفال است که در نشریات و مجلات داخلی و خارجی به چاپ رسیده است. این مطالعات هر کدام در زمینه‌های مختلفی انجام شده است، برخی از آنها بر روی فن‌شناسی، تکنولوژی ساخت، منشأیابی و نیز برخی دیگر نیز به شناسایی نوع رنگدانه‌های استفاده شده در تزئین سفال‌ها و غیره پرداخته‌اند.

۳- در گروه سوم می‌توان به پژوهش‌ها و مطالعاتی اشاره نمود که در حال انجام است و نتایج آنها منتشر نشده است و نیز مطالعاتی که قرار است در آینده انجام شوند.

۳- سفال در شهر سوخته

محوطه باستانی شهرسوخته و محوطه‌های اقماری آن (همچون تپه دشت، گراتزیانی، تپه یلدا و تپه طالب-خان و غیره) در زابل یکی از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین شهرهای دوران عصر مفرغ با وسعت ۲۸۳ هکتار در این منطقه محسوب می‌شود که از لحاظ صنعتی بسیار پیشرفته بوده است و کارگاه‌ها و مراکز تولیدی اشیاء مختلف را در دل خود جای داده است. تولیدات آثار سفالی در حجم گسترده یکی از مهم‌ترین کالاهای تولیدی صنعت‌گران این شهر بوده است. مقدار سفال در شهر سوخته بیش از حد متعارف است، به‌طوری که در برخی از قسمت‌های شهر بدون پا گذاشتن بر روی توده‌های سفالی امکان عبور و مرور نیست. بررسی‌های انجام شده نشان داده است که حدود هفتاد و پنج درصد از سطح محوطه پوشیده شده از قطعات سفال و به-ویژه سفال‌های نخودی رنگ است. بیشتر این سفال‌ها مناطق صنعتی، یا خارج از شهر و در روستاهای اقماری آن مانند تپه دشت و رود بیابان تولید می‌شده است (تصویر ۱).



شکل ۱: انبوهی از تکه سفال‌های شکسته نخودی در شهر سوخته (نگارندگان، ۱۳۹۸)

سفالینه‌های به‌دست آمده در چهار دسته کلی سفال‌های نخودی، قرمز و خاکستری رنگ و نیز به سفالینه-های چند رنگ تقسیم شده‌اند. ظروف و سفالینه‌های نخودی رنگ در تمام ادوار شهر سوخته بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است. به‌طور کلی میزان این ظروف و سفال‌ها بین هشتاد و نه درصد تا نود و نه درصد تمام ظروف سفالین به‌دست آمده از این محوطه را شامل می‌شود (توزی، ۱۳۸۵: ۳۲۰). به‌طور کلی ظروف سفالین به‌دست آمده به شکل‌های مختلفی چون لیوان، ساغر، جام، انواع کاسه‌ها، بشقاب‌ها، سینی‌ها، خمره‌های بزرگ و کوچک، کوزه‌ها، دیگ‌ها، پیاله‌ها، گلدان‌ها و دیگر اشکال هستند (تصویر ۲).



شکل ۲: برخی از گونه‌های سفال نخودی شهر سوخته (آرشیو میراث فرهنگی استان سیستان و بلوچستان)

۴- بررسی مطالعات باستان‌سنجی سفال شهر سوخته

تاکنون سفال‌های شهر سوخته و به‌ویژه سفالینه‌های نخودی رنگ توسط بسیاری از پژوهشگران و منجمه نویسنده این سطور با استفاده از روش‌های مختلف دستگاهی و آنالیز مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته‌اند. مهم‌ترین روش‌هایی که تمام نویسندگان تاکنون از آنها استفاده کرده‌اند، روش‌هایی مانند پتروگرافی مقاطع نازک، SEM-EDX، XRD و XRF بوده است.

از مهم‌ترین بررسی‌های انجام شده می‌توان به مطالعه‌ی سفال‌های شهر سوخته توسط حسین سرحدی دادیان و همکارانش اشاره کرد. در این پژوهش نویسندگان با استفاده از دو روش XRD و XRF به مطالعه و تحلیل سفال‌های سیستان پرداخته‌اند. هدف نویسندگان شناسایی سفال‌های بومی و سفال‌های وارداتی در جنوب سیستان بوده است. نتایج تحلیل‌های فازی و شیمیایی سفال‌ها نشان داده که سفال‌های دوره پیش از تاریخ که عموماً مربوط به عصر مفرغ سیستان و شهر سوخته بوده است تولیدی محلی داشته‌اند و تنها برخی از سفال‌هایی که مربوط به دوره‌های اسلامی داشته‌اند ترکیب متفاوتی از سفال‌های شهر سوخته و بومی سیستان داشته‌اند که نشان‌دهنده‌ی تولید غیر بومی بودن آنها بوده است (Sarhadi Dadian et al, 2015). در مقاله‌ای دیگر حسین سرحدی دادیان و همکارانش با مطالعه بر روی پانزده قطعه سفال بدست آمده از شهر سوخته به روش نیمه کمی عنصری XRF سعی در شناسایی سفال نوع بومی و به مراتب شناسایی سفال نوع وارداتی در شهر سوخته بوده‌اند. تمامی این سفال‌ها مربوط به دوره استقرار II-III و مربوط به بازه زمانی ۲۸۰۰ تا ۲۲۰۰ قبل از میلاد بوده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که اغلب سفال‌ها در یک دسته مشخص با نام گروه تولید محلی قرار می‌گیرند. بر همین اساس تعداد چهار قطعه سفال تولید محلی نبوده و در گروه دیگری قرار گرفته‌اند. با توجه به داده‌های تحقیق مشخص شد که سفال‌های قرمز و خاکستری مربوط به شهر سوخته نبوده و احتمالاً این سفال‌ها وارداتی‌اند (سرحدی دادیان و همکاران، ۱۳۹۴).

در مقاله حسین مرادی و همکارانش که بر روی تعدادی از سفال‌های شهر سوخته با استفاده از روش XRF انجام شده است، هدف آنها شناسایی سفال‌های بومی و نوع وارداتی بوده است. در این پژوهش تعداد ۱۵ قطعه سفال از نوع نخودی، خاکستری و قرمز مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج تحقیق و تحلیل‌های شیمیایی سفال‌ها نشان داد که سفال‌های نخودی رنگ ترکیبی مشابه داشته و از نوع سفال‌های بومی در شهر سوخته هستند. ولی ۴ قطعه از سفال‌ها که از نوع خاکستری و قرمز بودند نتایج شیمیایی متفاوتی داشتند و نشان

داد که سفال‌های وارداتی هستند. نتایج نشان داده است که این سفال‌ها میزان بسیار بیشتری از سیلیس، آلومینیوم، آهن و پتاسیم و مقدار کمتری از کلسیم و منیزیم را در ترکیب خود دارند. همچنین گفته شده است که یک نمونه میزان سرب بسیار بالایی داشته که احتمالاً از دره سند به شهر سوخته وارد شده است (Moradi et al., 2013).

زینب جوانشاه در پژوهشی دیگر که بر روی ۱۵ قطعه از سفال‌های شهر سوخته پرداخته است، ایشان در این پژوهش از روش‌های آزمایشگاهی و دستگاهی همچون پتروگرافی، XRD، XRF و SEM-EDX استفاده کرده است. شناسایی فن ساخت و شناسایی منشأ ساخت سفال‌ها از اهداف این پژوهشگر بوده است. در مرحله اول با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی به تحلیل و شناسایی نوع خمیره سفال‌ها پرداخته شده است که نتایج نشان داده است خمیره موجود در سفال‌ها منشایی محلی و از آبرفت‌های رودخانه‌ای منطقه داشته است، بنابراین بومی بودن سفال‌ها در این پژوهش به اثبات رسیده است. از سویی دیگر ایشان به مطالعه فن ساخت در سفال‌ها پرداخته است. براساس مطالعات کانی‌شناسی دمای پخت سفال‌ها را در حدود ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شده است (Javanshah, 2018).

وحید پورزرقان و همکارانش در پژوهشی به بررسی ۵۲ قطعه سفال شکسته که از نواحی مختلف سیستان از جمله شهرسوخته و از دوره‌های مختلف پیش از تاریخی، تاریخی تا دوره اسلامی بوده است را جهت مطالعه تطبیقی گردآوری و جمع‌آوری نموده‌اند. این سفال‌ها از نوع ساده تا لعابدار و در رنگ‌های نخودی، قرمز، خاکستری و سیاه بوده‌اند. به‌منظور مطالعه تطبیقی و شناسایی نوع بومی و غیر بومی سفال‌ها نویسندگان از دو آنالیز XRD و XRF استفاده کرده‌اند. بسیاری از سفال‌ها بویژه سفال‌های نخودی شهر سوخته و سفال‌های عصر مفرغ از نوع بومی بوده‌اند و سفال‌های دوره اسلامی ترکیبی متفاوت از دیگر سفال‌ها از نظر ترکیب شیمیایی و فازی داشته‌اند و نیز عنوان شده است که در منطقه سیستان می‌توان استمرار از تکنولوژی، تولید و تجارت سفالینه‌ها را شاهد بود (Pourzarghan et al, 2017).

یوسف صفایی نایینی و همکارانش در پژوهشی که بر روی سفال‌های شهرسوخته داشته‌اند، با استفاده از دستگاه میکروسکوپ حرارتی، XRD و XRF، به بررسی و تخمین دمای پخت سفال‌های این محوطه پرداختند. در این پژوهش رفتار حرارتی سفال‌ها از دمای محیط تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه میکروسکوپ حرارتی بررسی شده است که باتوجه به شروع انقباض پخت در حدود دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد این دما به عنوان دمای پخت نمونه تخمین زده شده است. درنهایت بااستفاده از دو روش XRD و XRF، بررسی استحاله‌های فازی نمونه خاک‌های مشابه سفال باستانی به جهت تأیید و تصدیق آزمایش حرارتی صورت گرفته، پرداخته‌اند که نتایج آنها، بررسی صورت گرفته با دستگاه میکروسکوپ حرارتی را تأیید نموده است (صفایی نایینی، ۱۳۹۱).

نجمه خاتون میری با استفاده از دو روش پتروگرافی و XRD به مطالعه سفال‌های نخودی و قرمز در شهر سوخته پرداخته است. این مطالعه بر روی یکسری ظروف سالم که مرمت شده‌اند و قابل نمونه‌برداری بوده‌اند آزمایش شده است. نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر بر روی دو گونه‌ی سفالی نخودی و قرمز محوطه باستانی شهرسوخته سیستان تقریباً مشابه هم بودند. به‌طوری که درکل می‌توان بیان کرد دو نوع سفال‌های نخودی و قرمز مربوط به شهرسوخته از نظر اجزاء سازنده و ساختار شبیه به هم هستند و تفاوت اصلی آنها در

ترکیب خمیره و درصد فراوانی هر یک از اجزاء موجود در خمیره سفال‌ها است. همچنین میزان حرارت کوره و شرایط اکسیداسیون و احیاء کوره عامل مهم در تعیین رنگ سفال‌ها بوده است. اندازه‌ی قطعات موجود در خمیره سفال‌های دارای بافت پورفیری از ۱ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند و بیشترین ترکیب موجود در خمیره کانی کوارتز و قطعات سنگ چرت است که منابع هر دوی این سنگ‌ها در منطقه به‌وفور یافت می‌شود. همچنین مقایسه ساختاری سفال‌های این پژوهش با ساختار سفال‌های پژوهش‌های دیگر سفال‌های شهر سوخته نشان داد که این سفال‌ها را از نظر بومی بودن می‌توان بومی منطقه و مربوط به صنعت سفالگری خود شهر سوخته دانست. در نتیجه می‌توان بیان کرد که این دو گونه‌ی سفالی از نظر کانی‌شناسی و ساختار دارای ساختاری همسان و مشابه هستند و منابع مورد استفاده در ساخت آنها تقریباً یکسان و نیز بومی بوده‌اند. اما باید این نکته را هم متذکر شد که تفاوت موجود در سفال‌ها مربوط به نوع شیوه‌ی ساخت و نحوه عمل‌آوری خمیره سفال‌ها توسط سفالگران پیش از تاریخی شهر سوخته بوده است (میری، ۱۳۹۹).

در مقاله‌ای دیگر که نجمه‌خاتون میری و یاسین صدقی بر روی سه ظرف سفالی نخودی رنگ متعلق به شهر سوخته با استفاده از دو روش پتروگرافی و XRD انجام داده‌اند، نتایج مشابهی بدست آورده‌اند. که براساس نتایج آزمایشات موجود و تطبیق آن با زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه مشخص شد که سفال‌های نخودی این محوطه بومی می‌باشند. خاک‌های استفاده شده در این سفال‌ها نیمه آبرفتی با دانه‌های لبه نیمه گرد تا حدودی زاویه‌دار بوده‌اند. همچنین براساس مطالعه ساختارشناسی و وجود دانه‌های کلسیت دمای پخت ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد برای یک نمونه و برای دو نمونه‌ی دیگر می‌توان دمای حدود ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد را پیشنهاد داد (میری و دیگران، ۱۳۹۵).

پروین غفاری در پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خود که در رشته مرمت آثار تاریخی به رشته تحریر درآمده است، به مطالعه و تحقیق بر روی ۱۵ قطعه سفال نخودی که مربوط به دوره چهارم استقرار بوده‌اند پرداخته است. هدف پژوهشگر در این پایان‌نامه شناسایی تکنولوژی ساخت، شناسایی منشا و آسیب‌شناسی آثار سفالی به منظور راهکارهای حفاظتی بوده است. روش‌ها و متد استفاده شده در این تحقیق بر مبنای مطالعات پتروگرافی، SEM-EDX و XRD بوده است. بررسی‌ها نشان داد که سفال‌ها از نقطه نظر منشا ساخت سفال‌های بومی و متعلق به صنعت سفالگری در شهر سوخته بوده است. براساس دانه‌های کربناته یافت شده در سفال‌ها دمای پخت آنها را به دو گروه پایین‌تر از ۸۵۰ درجه و سفال‌های فاقد کلسیت را بالاتر از ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد تقسیم‌بندی کرده است. سفال‌های مورد مطالعه دارای سه نوع بافت مختلف نظیر سیلتي ناهمگن، سیلتي و پورفیری هستند که این موضوع نشان می‌دهد سفال‌های مذکور دارای تکنیک‌های ساخت متفاوت بوده، یعنی چندین نفر از سفال‌گران در تهیه و آماده‌سازی خمیره‌ی گل اولیه سفال نقش داشته‌اند. بنابراین از موضوعات بالا در این بحث می‌توان به این نتیجه رسید که منشا خمیره و ساخت سفال‌ها یکسان بوده اما روش‌های مختلفی در تهیه و آماده‌سازی خاک‌ها و سفال‌ها وجود داشته است (غفاری، ۱۳۹۸).

در نهایت می‌توان به پایان‌نامه ارشد عباس آتش‌پنجه اشاره نمود که ایشان هم با هدف مطالعات ساختاری و فازی سفال‌های نخودی شهر سوخته با روش‌های پتروگرافی و FTIR به تکنولوژی ساخت، منشا و آسیب‌شناسی آنها پرداخت تا در نهایت بتواند یک راهکار حفاظتی برای آنها پیشنهاد بدهد. مطالعات ایشان نشان داد که سفال‌های مورد مطالعه بومی و از خاک منطقه برای ساخت آنها استفاده شده است و سفالگر برای

شکل پذیری بهتر ظروف از قطعات خرد شده سنگ چرت و ماسه سنگ بعنوان پرکننده استفاده کرده است. سفال‌ها عموماً چرخساز و از نوع چرخ کند بوده و برای نقاشی ظروف عموماً از ترکیبات اکسید آهن استفاده شده است و در نهایت دمای پخت سفال‌ها را بالاتر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد داده است (آتش‌پنجه، ۱۳۹۴).

مرضیه کردان در پایان‌نامه ارشد خود با عنوان آنالیز شیمیایی سفال‌های تپه دشت باهدف بررسی دلیل تغییر شکل و رنگ برخی از سفال‌های تپه دشت و همچنین تعیین دمای پخت از روش‌های دستگاهی XRD و XRF استفاده کرده و با توجه به نتایج آنالیز فازی و عنصری به این نتیجه رسید که دلیل تغییر شکل و رنگ برخی از سفال‌های تپه دشت، وجود ترکیبات قلیایی، اکسیدهای فلزی در خاک مورد استفاده برای ساخت نمونه و محیط پخت است و دمای پخت سفال‌ها نیز در حدود ۱۱۰۰ درجه بوده است (کردان، ۱۳۹۰).

همچنین باید به پژوهش بنجامین موتین و له مینک که با استفاده از روش INAA به آنالیز سفال‌های نخودی، قرمز و خاکستری شهرسوخته و یک نمونه سفال از موندیگاک افغانستان به منظور کشف سفال‌های وارداتی و بومی شهر سوخته اشاره کرد. در این مقاله ایشان سفال‌های نخودی را بومی و مربوط به شهر سوخته سیستان دانسته و برخی از سفال‌های دیگر را غیر بومی و وارداتی دانسته است (Mutin and Minc, 2019).

همچنین جواد سلمانزاده در یک پژوهش که براساس مطالعات پتروگرافی بر روی نمونه سفال‌های تپه گراتزیانی (یکی از محوطه‌های اقماری در دشت سیستان که در فاصله ۱۰ کیلومتری جنوب شرق شهرسوخته قرار گرفته است) انجام داد مشخص نمود که تمام سفال‌ها تولید محلی بوده است (سلمانزاده و همکاران، ۱۳۹۳).

اما در زمینه مطالعات فن‌شناسی و آسیب‌شناسی بر روی سفال‌های خاکستری شهر سوخته می‌توان به پایان‌نامه ارشد مهناز حاتمی اشاره نمود. در این پایان‌نامه ایشان به تفاوت‌های آسیب‌شناسی و فن‌شناسی در سفال‌های خاکستری رنگ با سفال‌های نخودی رنگ پرداخته است که نتایج متفاوتی ارائه نموده است (حاتمی، ۱۳۹۵).

در انتها باید به مقاله نگار افتخاری و همکارانش بر روی سفال ۱۰۹ قطعه از انواع سفال‌های نخودی، قرمز، خاکستری و بدون رنگ، تک رنگ و چند رنگ و نمونه خاک اشاره نمود. در این پژوهش از روش‌های پتروگرافی، SEM-EDS و WDXRF استفاده شده است. نتایج این تحقیق نیز نشان داده است که سفال‌های نخودی مطالعه شده تولید بومی بوده‌اند و سفال‌های خاکستری و قرمز نیز ترکیباتی مشابه داشته‌اند که نیازمند مطالعات دقیق‌تر برای بومی بودن آنها مطرح است (Eftekhari et al., 2021).

۵- نتیجه‌گیری

با مروری اجمالی و بررسی در مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در سفالینه‌های شهر سوخته سیستان، به‌ویژه سفالینه‌های نخودی رنگ نتایج یکسانی برداشت گردید که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- در تمام پژوهش‌هایی که بر روی سفالینه‌های نخودی رنگ شهر سوخته انجام شده است پژوهشگران به این نتیجه رسیده‌اند که این سفال‌ها بومی و ساخت کارگاه‌های سفالگری شهر سوخته است.

- سفالینه‌های خاکستری رنگ و قرمز رنگ دارای منشایی متفاوت از سفال‌های نخودی رنگ هستند و احتمالاً وارداتی به شهر سوخته هستند.

- برخی سفال‌ها دستساز و برخی دیگر با استفاده از چرخ سفالگری ساخته شده‌اند.

- مطالعات کانی‌شناسی نشان داده است که سفالگران از خاک‌های آبرفتی و نیمه آبرفتی موجود در دشت سیستان در تهیه خمیره سفالینه‌ها استفاده کرده‌اند.

- سفال‌های نخودی رنگ دارای بافت خشن و زمخت‌تری نسبت به سفال‌های خاکستری و قرمز هستند و همچنین از لحاظ خلل و فرج و پوکی درصد بسیار بالاتری دارند و امکان آسیب دیدن آنها بیشتر است.

- دمای پخت سفال‌ها در حدود دمایی مابین ۸۵۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شده‌اند.

در این مقاله سعی شده است تا با کنار هم قرار دادن نتایج صورت گرفته در سالیان مختلف به یک جمع‌بندی کلی در مطالعات منشایی و تکنولوژی ساخت سفال‌های شهر سوخته به‌ویژه سفال‌های نخودی رنگ رسیده شود. چرا که تعداد پژوهش‌هایی که در این زمینه هر ساله در حال انجام گرفتن است نشان می‌دهد که هنوز پژوهشگران به یک جمع‌بندی در رابطه با فن ساخت و منشا سفال‌های شهر سوخته نرسیده‌اند. همچنین با کوچک‌ترین کنکاش در این پژوهش‌ها نشان داده است که در برخی از این پژوهش‌ها هیچگونه اشاره‌ای به پژوهش‌های قبلی و هم‌راستای خود نشده است و به بیانی دیگر هر کدام پژوهش خود را به عنوان اولین پژوهش معرفی نموده‌اند. این موضوع علاوه بر این که باعث هدر رفتن هزینه‌ها، انرژی و زمان برای پژوهشگران مختلف می‌شود هیچ‌گونه کمکی به باستان‌شناسی جنوب‌شرق کشور نمی‌کند.

۶- منابع

آتش‌پنجه، عباس (۱۳۹۴). فن‌شناسی و آسیب‌شناسی سفال‌های نخودی مکشوفه از شهر سوخته به- منظور ارائه طرح حفاظتی، پایان‌نامه تحصیلی جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد، رشته مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، استاد راهنما: علی زمانی‌فرد، دانشگاه هنر، دانشکده حفاظت و مرمت (منتشر نشده).

توزی، ماریتزیو (۱۳۸۶). تاریخ سیستان، ترجمه رضا مهرآفرین، مشهد: نشر پاز.

حاتمی، مهناز (۱۳۹۵). نقش مطالعات فن‌شناسی و آسیب‌شناسی در حفاظت از سفال‌های خاکستری شهر سوخته، پایان‌نامه تحصیلی جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد، رشته مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، استاد راهنما: کورس سامانیان، استاد مشاور: فرانک بحرالعلومی، دانشگاه هنر، دانشکده حفاظت و مرمت (منتشر نشده).

سرحدی‌دادیان، حسن. وحید پورزرقان. حسین مرادی، و مهدی رازانی. (۱۳۹۴). تحلیل مقدماتی از ردپای بومی بودن صنعت سفال‌های نخودی شهر سوخته با استفاده از روش آنالیز نیمه‌کمی عنصری XRF. پژوهش باستان‌سنجی. سال اول، شماره شماره یک.

سلمانزاده، جواد. کاوش، حسنعلی. فاضلی نشلی، حسن و سید ایرج بهشتی (۱۳۹۳). نتایج آزمایشات پتروگرافی نمونه‌های سفالی تپه گراتزیانی، مطالعات باستان‌شناسی، دوره ۶، شماره ۱.

صفایی نایینی، یوسف؛ قصاعی، حسین، عرب، یاسر؛ خراسانی‌زاده، فاطمه، ۱۳۹۱، «شناسایی دمای پخت سفال‌های باستانی از طریق بررسی انقباض پخت و استحاله‌های فازی». مجموعه مقالات نخستین همایش علم مواد و حفاظت آثار فرهنگی، تاریخی. انتشارات پژوهشگاه میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری با همکاری پژوهشگاه مواد و انرژی، چاپ اول، صص ۳۱۹-۳۲۷.

غقاری، پروین (۱۳۹۸). فن‌شناسی و ساختارشناسی سفال نخودی دوره چهارم مکشوفه از محوطه شهر سوخته به‌منظور ارائه طرح حفاظتی، پایان‌نامه تحصیلی جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد، رشته مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، استاد راهنما: رضا وحیدزاده، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، دانشکده معماری و شهرسازی، گروه مرمت (منتشر نشده).

کردان، مرضیه. (۱۳۹۰). آنالیز شیمیایی سفال‌های تپه دشت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته باستان‌شناسی، استاد راهنما: مهدی مرتضوی، دانشگاه سیستان و بلوچستان (منتشر نشده).

میری، نجمه خاتون. (۱۳۹۹). مطالعه ساختارشناسی ظروف سفالی قرمز و نخودی محوطه شهرسوخته سیستان، پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱۰(۲۷): ۵۵-۷۲.

میری، نجمه‌خاتون، صدقی، یاسین، حیدری، الهام (۱۳۹۵). مطالعه ساختارشناسی سفال نخودی شهرسوخته به روش پتروگرافی و XRPD. دوازدهمین همایش دوسالانه حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی-فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری، تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی.

Eftekhari, N., Holakooei, P., Marrocchino, E., & Vaccaro, C. (2021). To be or not to be local: a provenance study of archaeological ceramics from Shahr-i Sokhta, eastern Iran. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13(4), 1-13.

Javanshah, Z. (2018). Chemical and mineralogical analysis for provenancing of the Bronze Age pottery from Shahr-i-Sokhta, south eastern Iran. *Scientific Culture*, 4(1), 83-92.

Moradi, H., Sarhaddi Dadian, H., Ramli, Z., Rahman, A. (2013). Compositional analysis of the pottery shards of Shahr-I Sokhta, South Eastern Iran. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6(4), 654-659.

Mutin, B., & Minc, L. (2019). The formative phase of the Helmand Civilization, Iran and Afghanistan: New data from compositional analysis of ceramics from Shahr-i Sokhta, Iran. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 23, 881-899.

Pourzarghan, V., Sarhaddi-Dadian, H., & Ramli, Z. (2017). MORPHOLOGY OF ANCIENT POTTERIES USING X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS AND X-RAY FLUORESCENCE IN SISTAN PLAIN, EASTERN IRAN. *Mediterranean Archaeology & Archaeometry*, 17(2).

Sarhaddi-Dadian, H., Ramli, Z., Rahman, A., & Mehrafarin, R. (2015). X-ray diffraction and X-ray fluorescence analysis of pottery shards from new archaeological survey in south region of Sistan, Iran. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 15(3), 45-56.



کتاب شناسی حوزه حفاظت و مرمت و باستان سنجی مصالح و آرایه‌های گچی در زبان فارسی

حامد یعقوب زاده*؛ مهدی رازانی؛ آرمین موسی‌خانی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد حفاظت و مرمت آثار تاریخی دانشگاه هنر اسلامی تبریز. yagubzadehamed@yahoo.com

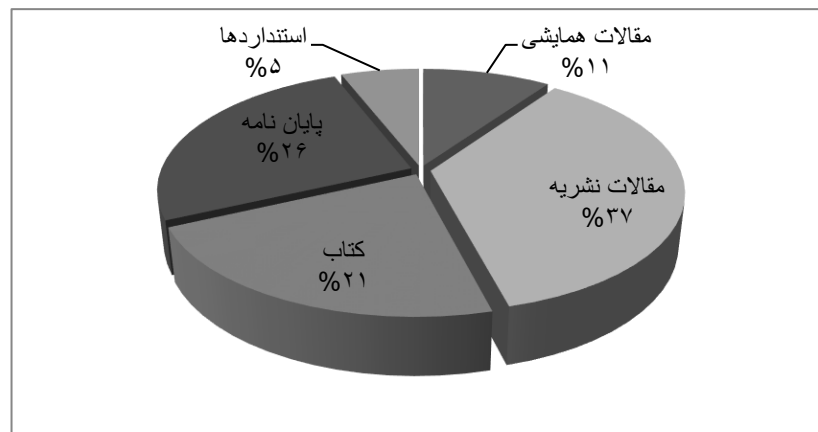
۲- استادیار، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد باستان سنجی دانشگاه هنر اسلامی تبریز

نقدی بر کتاب شناسی

گچ ماده‌ای کهن در مصالح ساختمانی محسوب می‌شود به همین منظور پژوهش‌های مختلفی می‌بایست در جهت شناخت دقیق این ماده ارزشمند انجام داد تا درک مناسبی را از گچ که یک ماده تاریخی محسوب می‌شود بدست آورد. این نویسه سعی بر جمع‌آوری منابعی اعم از کتاب، مقاله‌های نشریه و همایش‌ها، پایان‌نامه‌های حفاظتی و مرمتی و استاندارد‌های موجود بر موضوع گچ بود به همین منظور فقط منابعی که در حوزه‌های فن‌شناسی گچ، پژوهش‌های باستان‌شناسی گچ، ساختار شناسی و اصلاح خواص گچ بیان‌شده‌اند. بعد از مشاهده منابع که در کل به عدد ۱۶۰ می‌رسید چندین نکته در جهت نقد کتاب‌شناسی جمع‌آوری شده که بیان آن در این نویسه مناسب خواهد بود. مقاله‌های مرتبط با اصلاح خواص گچ و بهبود ویژگی‌های فیزیکی به ۳۶ مقاله همایشی، نشریه‌ای، پایان‌نامه و کتاب وافی به نظر رسیده‌است گفتن این نوشته مناسب خواهد بود که تعداد بیشتری نسبت به آمار بیان شده از منابع ذکر شده در کتاب‌شناسی نگاهی به اصلاح خواص گچ داشته‌اند ولی قصد از ذکر این تعداد در طبقه‌بندی منابعی بودند که مطالب گسترده و جدی‌تری را در این حوزه مطرح کرده‌اند؛ بیان چندین نکته در رابطه به منابع این بخش شایسته این نوشتار به نظر می‌رسد. بخشی از منابع شامل اصلاح گچ در بخش تولید بوده و بخشی دیگر اصلاح خواص گچ در هنگام عمل‌آوری ملاط و خمیره گچ است، در کل مراجع گفته‌شده مطالب و سخن‌های مختلف و مفیدی را برای خواننده به ارمغان می‌آورد ولی پژوهشگران حوزه حفاظت و مرمت فعال در بخش ملاط‌های تاریخی گچی تا

به امروز نتوانسته‌اند آن گونه که لایق و نیاز است ارتباطی با مطالب ارائه شده انجام دهند و همچنین در برخی از مقاله‌های همایشی اشتباه‌هایی در تحلیل مناسب و روش انجام آزمون آنالیزها دیده می‌شود که امید است خواننده دچار سردرگمی و اشتباه در فهم مطالب نشده و قابلیت تمییز دادن بین داده‌ها باشد. بخش فن‌شناسی ۵۸ مرجع ذکر شده است که بیشترین تعداد منابع این بخش شامل پایان‌نامه و مقاله بوده و پایان‌نامه‌های جمع‌آوری شده بیشتر از دانشگاه‌های هنر اصفهان، تهران و دانشگاه هنر اسلامی تبریز است. کم‌ترین منابع از لحاظ تعداد منابع مربوط به مطالعات گچ در حوزه باستان‌شناختی در این کتاب‌شناسی بوده که در کل شامل ۲۸ مقاله است. بخش ساختارشناسی گچ در حدود ۴۰ مأخذ بوده که اکثراً کتاب و مقاله را شامل می‌شود احتمال هم‌پوشانی برخی منابع در بخش‌های مختلف وجود دارد برای مثال کتاب مصالح ساختمانی نوشته احمد حامی گدزی، بر ساختارشناسی، استخراج و اصلاح خواص گچ را بیان کرده است از به همین منظور این کتاب در طبقه بندی‌های ساختارشناسی و اصلاح خواص مواد بیان شده است. در کل بیشتر منابع موجود در رابطه با گچ مربوط به مطالعات تطبیقی و بررسی نقوش تزئینات گچ در بناهای مختلف بوده است و مطالعات کمی در حوزه ساختارشناسی آثار گچی انجام گرفته است. در برخی پایان‌نامه‌ها هدر رفت اطلاعات دیده می‌شود (منظور از هدر رفت اطلاعات: عدم توانایی دانشجو در تحلیل دقیق و صحیح داده‌ها است) به همین جهت انتظار بر این است که مطالعات جدی‌تر و گسترده‌تری در رابطه با این موضوع در آینده انجام گیرد تا بتوان بخش‌های فن‌شناسی گچ، ساختارشناسی گچ و اصلاح خواص گچ متناسب با کارهای حفاظتی و مرمتی را غنی‌تر کرد.



شکل ۱: دسته‌بندی منابع موجود به تفکیک نوع نشر داده‌ها

کتاب‌شناسی حفاظت و مرمت آثار گچی (ساختار شناس، فن شناسی، ارزیابی خواص، استخراج و تولید)

مقاله در نشریات

ابراهیمی ناغانی، حسین و پدرام قربانی. ۱۳۹۴. مجسمه های گچی سلجوقی . هنرهای تجسمی. ش ۶۲: ۵۰-۳۹.

اصلانی، حسام، آصفه میرنیام، و مجید علومی. ۱۳۹۲. بررسی گوناگونی شیوه های اجرای آرایه های گچی قالبی بناهای تاریخی در دوره قاجار شهر یزد. با تکیه بر مطالعه موردی تزئینات محراب شبستان شاهزاده در مسجد جامع کبیر. مرمت و معماری ایران. دوره ۱، ش ۵: ۱-۱۴.

اصلانی، حسام. ۱۳۸۵. شیوه اجرای تزئینات کشته بری در کاخ عالی قاپوی اصفهان، گلستان هنر. سال دوم، ش سوم: ۱۲۳-۱۳۰.

بخشی، علیرضا. ۱۳۹۰. مسجد جامع ساوه، بنایی با آرایه های گچی. پنجره. سال ۱۲: ۵۴-۳۷.

بهداد، حمید و بهنام جلالی جعفری. ۱۳۹۱. پژوهشی بر تویی های گچی ته آجری با رویکرد به مسجد جامع یزد. هنرهای تجسمی. ش ۴، دوره ۱۷: ۶۷-۷۴.

حمزوی، یاسر. ۱۳۹۰. تزئینات گچی بناهای دوره تیموری شهر یزد. کتاب ماه هنر. ش ۱۶۰: ۱۲۶-۱۳۵.

حمزوی، یاسر. ۱۳۹۶. استفاده از میخ گچی، راهکاری برای استحکام بخشی و ماندگاری آرایه های معماری تاریخی. پژوهش باستان سنجی، سال ۳، ش ۲: ۸۵-۱۰۳.

سعیدی رضوی، بهزاد، امیر گل بابی و نرجس بهزادی مقدم. ۱۳۹۳. بهبود کیفیت بلوک های گچی سبک. فناوری سیمان: ۸۰-۷۱.

صالحی کاخکی، احمد، سید محمد امین امامی و حسام اصلانی. ۱۳۸۹. فناوری معرق های گچی تخمه گذاری در تزئینات معماری دوره صفویه. پژوهش های تاریخی. ش ۲: ۶۳-۸۰.

فلکی تبریزی، مناف. ۱۳۸۳. مرمت سقفهای گچی. راه و ساختمان.

موسوی حاجی، سید رسول، هوشنگ رستمی و رضا مهر آفرین. ۱۳۹۸. پژوهشی بر شاخص ترین نقوش نمادین گیاهی در گچبری های ساسانی. جامعه شناسی تاریخی. دوره ۱۱، ش ۲: ۳۱۷-۳۴۰.

هنر فر، لطف الله. ۱۳۴۷. تزئینات گچی در آثار اصفهان. هنر و مردم: ۷۲-۱۰۲.

آذرنوش، مسعود. ۱۳۹۸. کاوش های باستان شناختی قلعه یزدگرد: گچ گنبد غربی". نشریه باستان شناسی. دوره ۳ ش ۱: ۱۰۵-۱۱۸.

انصاری، جمال. (۱۳۶۶). «گچ‌بری دوران ساسانی و تأثیر آن در هنرهای اسلامی». فصلنامه هنر. زمستان ۱۳۶۵ و بهار ۱۳۶۶ ش ۱۳. صص: ۳۷۳-۳۱۸.

امیری، مصیب. ۱۳۹۹. تزئینات گچی و گچبری در بیشاپور براساس نویافته های نهمین فصل کاوش. مطالعات باستان شناسی پارسه. سال چهارم، ش ۱۶۹: ۱۲-۱۸۷.

ایمانی، ابراهیم. ۱۳۹۷. استفاده از قالب گیری دوپوسته در مرمت و بازسازی سرستون های خانه صدقیانی تبریز جهت حفظ و ارتقاء کیفیت جزئیات فرمی نمونه اصلی. پژوهش باستان سنجی، ۱۳۹۷: دوره ۴، ش ۱: ۹۵-۱۰۰.

آبیاری، منصور. ۱۳۸۲. بررسی کتیبه های محرابهای گچی در موزه ملی ایران. اثر. ۳۵-۷۴. بختیاری، سعید، فاطمه جعفر پور، فهیمه فیروز یار، محمد جعفر هدایتی و بهروز محمد کاری. ۱۳۸۶. بهبود مقاومت در برابر آتش و خواص فیزیکی - مکانیکی اندود و تخته های گچ و گچ - پرلیت به وسیله الیاف شیشه و امولسیون پلی وینیل استات. امیر کبیر. دوره ۱۸، ش ج-۱۸: ۱۱-۲۰. بدری، نازنین و انوشیروان لطفعلی کنی. ۱۳۹۳. زیست چینه شناسی سازند گورپی بر مبنای نانوپلانکتون های آهکی در تاق‌دیس های کوه گچ و کوه کورده (منطقه لار). علوم زمین. دوره ۲۴، ش ۹۴: ۱۹-۲۶. بهنام، پرویز. ۱۳۳۲. گچ بریهای عتیق. سخن. سال ۵، ش ۲.

پرتو، زهرا و زهرا مسعودی امین. ۱۳۹۹. بازتاب شکلی نقوش ساسانی در تزئینات گچبری خانه قلعه بنی عامری. باغ نظر، ۱۳۹۹: ش ۸۹: ۱۹-۳۲. پنجه باشی، الهه و ناهید یحیایی. ۱۳۹۸. مطالعه نقوش گچبری در اتاق صوت عال قاپو. جلوه هنر. ش ۲ دوره ۱۱: ص ۷-۲۰.

ترابی، سامان و بهنام پدرام. ۱۳۸۶. بررسی علمی و هنری دیوارنگارهای موجود در بنای تاریخی گنبد آزادان. "مرمت و پژوهش، ش ۳: ۹۳-۱۰۴.

تقوی نژاد، بهاره. ۱۳۹۹. گونه شناسی فرم و نقش قاب های نهفته در تزئینات گچ بری قرن هشتم هجری در ایران. مرمت و معماری ایران. دوره ۱۰، ش ۲۱: ۱۳-۲۱.

چهری، محمد اقبال، مهرناز بهروزی و سید رسول موسوی. ۱۳۹۴. تحلیلی بر هویت پلاک های گچی شکار شاهی از چال ترخان- عشق آباد. مطالعات باستان شناسی. دوره ۷ ش ۱: ۶۵-۸۴. چهرگانی، حسین. ۱۳۹۴. معرفی یک افزودنی جدید آب گریز برای ملات های بر پایه گچ. فناوری سیمان ۸۵-۸۱.

حمزوی، یاسر، فاطمه سلحشور و مظفر فرهنگ. ۱۳۹۲. طلاکاری آرایه های گچی قالبی در بقعه سید رکن الدین یزد. مطالعات هنر اسلامی. ش ۱۹: ۱۱۱-۱۲۴.

حمید زاده، مرضیه، عباس طائب و افشار شهر آرا. ۱۳۸۰. اثر نمکهای سولفات، روی و ویژگیهای گچ گیرش یافته. شیمی و مهندسی شیمی ایران. دوره ۲۰، ش ۱: ۴۵-۵۴.

خاک باز الوندیان، الهه. ۱۳۸۸. فن ساخت گچبری-های مدرسه رکنیه یزد. گنجینه های از یاد رفته هنر ایران، فرهنگستان هنر ۱۳۸۸.

خجسته خسرو، سعید، حسین رنگ آور، محمد حسین پایان و سید مهدی سیدی. ۱۳۹۴. بهبود ثبات ابعادی و خواص مکانیکی تخته های چوب گچ با افزودن سیمان سفید. "تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران. دوره ۳۰ ش ۱: ۱۳۲-۱۴۳.

خدابنده، ناهید، سهراب ویسه و محمد حسین ماجدی اردکانی. ۱۳۷۸. مصالح بنایی با استفاده از خاک، گچ، آهک و مخلوط های خاک - گچ و خاک - آهک. تازه های ساختمان و مسکن. شماره ۱۵.

- خزاعی مسک، سمیه و آرزو پایدار فرد . ۱۳۹۲. تزئینات گچ بری و آئینه کاری عمارت باغ رحیم آباد بیرجند. "نگره. دوره ۸، ش ۲۷: ۴۸-۵۹.
- راشد نیا، زهرا، احمد صالحی کاخکی و بهاره تقوی نژاد . ۱۳۹۷. مطالعه تزئینات گچ بری آرامگاه میر زبیر سیرجان و بررسی انتساب آن به هنرمندان کرمانی. مطالعات باستان‌شناسی. سال دهم، ش ۱: ۹۵-۱۱۴.
- رنگ آور، حسین. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر ماده افزودنی آرد سریش در کاهش زمان گیرایی گچ و بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب گچ ساخته شده از خرده چوب صنوبر و پسماند ساقه کلزا. "تحقیقات علوم چوب و علم کاغذ. دوره ۳۰، ش ۳، ص ۳۸۸-۳۹۸.
- رنگ آور، حسین، محمد حسن پایان و سعید خجسته خسرو. ۱۳۹۳. بررسی تاثیر نوع و مقدار گچ بر ثبات ابعادی و خواص مکانیکی تخته های چوب گچ. "نشریه صنایع چوب و کاغذ ایران. سال ۵، ش ۱: ۴۵-۵۴.
- رهبر، مهدی. ۱۳۷۴. کشف گچبری های جدید دوره ساسانی در بندیان خراسان. میراث فرهنگی . ش ۱۴: ۸۲ - ۸۵.
- زرعکائی، هومن، نفیسه کریمی، صیفاله صدیریا و امیر فیاض. ۱۳۹۲. بررسی مقایسه ای زمان گیرش، انبساط ناشی از گیرش و استحکام فشاری کست های گچی حاصل از اختلاط پودر گچ و آب مقطر با پودر گچ و محلول هیپوکلریت سدیم ۵٪. مجله دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی. دوره ۳۱، ش ۲: ۸۹-۹۶.
- ساریخانی، مجید، اکبر شریفی نیا، و اکرم احمدی. "بررسی و تحلیل نقش مایه های ایرانی-اسلامی گچبری های امام زاده عبدالله اراک. ۱۳۹۴. تاریخ فرهنگ و تمدن اسلامی. سال ۶، ش ۱۸: ۱۵۵-۱۷۶.
- سعیدی رضوی، بهزاد و مریم عابدینی. ۱۳۹۱. مقاله آموزش کاربردی : گچ مزایا انواع و هشدار های آموزشی. رشد آموزش علوم زمین. ش ۷۱: ۲۹-۳۳.
- سمنانی رهبر، مجتبی و شکوفا مهرآزما. ۱۳۸۹. روشی جدید برای تهیه کلیسم سولفات خشک از ژئوپس. علوم پایه.
- شایسته فر، مهناز. ۱۳۷۸. تزئینات کتیبه ای مسجد جامع قزوین. "مطالعات فرهنگ - ارتباطات (نامه پژوهش فرهنگی سابق) . سال نهم بهار، ش ۲: ۵۳-۷۸.
- شکفته، عاطفه و احمد صالحی کاخکی. ۱۳۹۳. شیوه های اجرایی و سیر تحولات تزئینات گچی معماری ایران در قرون هفتم تا نهم هجری. نگره. دوره ۹، ش ۳۰: ۶۳-۸۱.
- شکفته، عاطفه، محمد رضا نیلفروشان و غلامعلی حاتم. ۱۳۸۷. بررسی ماهیت شیمایی و ریز ساختار ی ملات به کار رفته در آرامگاه تپتی آهار هفت تپه خوزستان. مرمت و پژوهش. ش ۴: ۷۱-۷۸.
- شکفته، عاطفه . ۱۳۹۸. مطالعه تطبیقی آرایه های گچی در دو بنای شاخص در خراسان بزرگ: رباط شرف و مسجد فریومد (سلجوقی، خوارزمشاهی و ایلخانی). "نگره. ش ۵۲: ۱۰۱-۱۲۱.
- شکفته، عاطفه. ۱۳۹۱. ویژگی های بصری شاخص تزئینات گچبری معماری عصر ایل خانی. مطالعات معماری ایران . ش ۲: ص ۷۹-۹۸.

- شیروانی، مریم. ۱۳۹۸. شناخت رنگدانه‌ها در آرایه های گچی ایوان بیرونی ضلع جنوب غربی گنبد سلطانیه زنجان. پژوهش باستان سنجی. (۱)۵: ۱۲۹-۱۴۲.
- شیشوی، آذر. ۱۳۶۸. کاربرد کانی ها و مواد معدنی در صنایع گچ. رشد آموزش علوم زمین. ش. ۱۷: ۴۷-۶۶.
- صاحبی، مجید و شهین رکنی. ۱۳۸۳. اثر دما، رطوبت و زمان بر تغییرات ابعادی گچ نوع "IV". دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران. دوره ۱۷، ش ۲: ۹۴-۱۰۰.
- صالحی کاخکی، احمد، و بهاره تقوی نژاد. ۱۳۹۵. پژوهشی بر آرایه های هندسی محراب های گچبری دوره ی ایلخانی در ایران. پژوهش های معماری اسلامی. دوره ۴، ش ۱: ۷۷-۹۵.
- صالحی کاخکی، احمد، بهاره تقوی نژاد. ۱۳۹۶. جستاری در نسب شناسی و ویژگی های سبک فردی هنرمندان گچ بر در قرن هشتم هجری. پژوهش های معماری اسلامی. دوره ۵، ش ۱: ۸۴-۱۰۴.
- صالحی کاخکی، احمد، و حسام اصلانی. ۱۳۹۰. معرفی دوازده گونه از آرایه های گچی در تزئینات معماری دوران اسلامی ایران بر اساس شگردهای فنی و جزئیات اجرایی. "مطالعات باستان شناسی". دوره ۳، ش ۱: ۸۹-۱۰۶.
- عرفانی، حسین. ۱۳۴۶. مطالعه بلور شناسی بلورهای ژپس طبقات کچ واقع در مشرق تهران. دانشکده فنی. ش ۹: ۴۳-۴۸.
- علیزاده، سیامک و اکرم مردی. ۱۳۹۶. زیبایی شناسی نقوش گچ بری مسجد فریومد. مبانی نظری هنر های تجسمی. ش ۴: ۱۹-۳۲.
- عموزاده، علی. ۱۳۸۶. استفاده از گچ به عنوان یک فاز ساکن جدید برای جداسازی ترکیبات آلی در کروماتوگرافی (انگلیسی). مجله علوم دانشگاه تهران دوره ۳۳ ش ۲: ۲۳-۲۴.
- غمامی شهریار، طاهری مریم. ۱۳۸۳. تهیه فازهای مختلف سولفات کلسیم نیم آبه از گچ طبیعی معدن الموت و بررسی پارامترهای موثر بر سرعت سفت شدن آنها. بلورشناسی و کانی شناسی ایران. دوره ۱۲، ش ۱: ۳۱-۳۸.
- کاظمیان، میثم و حسام اصلانی. ۱۳۹۱. شناسایی نقوش و فنون آرایه‌های گچی بند آجری. پژوهش هنر. سال دوم، ش ۴: ۶۱-۷۰.
- لشکری، آرش. ۱۳۹۶. بررسی و تحلیل گچ بری های نویافته ایلخانیان آوه. "مطالعات باستان شناسی پارسه، ۱۳۹۶: ش ۱، دوره ۲: ۹۱-۱۰۴.
- ماهیار، شاهین، بهمن فیروز مندی شیره جین و هایده خمسه. ۱۳۹۷. مطالعه ساختاری و شناخت ترکیب ملات ساسانی مجموعه تخت سلیمان در شمال غرب ایران به روش XRD. نشریه باستان شناسی ایران. سال هشتم، ش ۲: ۷۰-۹۱.
- ماهیار، شاهین، بهمن فیروز مندی شیره جینی، و هایده خمسه. ۱۴۰۰. بررسی ساختار ملات اوایل دوره اسلامی بر اساس نمونه‌های برجهای آرامگاهی و قلعه های شرق مازندران با روش XRD. مطالعات باستان شناسی. دوره ۱۳، ش ۱: ۱۸۹-۲۰۹.

- محتشم، عادل، لایلا صالحیون و کامران احمدی. ۱۳۹۳. بررسی فنی تزئینات گچبری خانه ی شهشهان اصفهان با استفاده از روش های دستگاهی SEM-EDS و XRD و شیمی تر. مواد و فناوریهای پیشرفته. دوره ۳ ش ۲: ۳۷-۴۹.
- مطلبی، زهره و حسام اصلانی. ۱۳۹۳. شناسایی و معرفی نقوش تزئینات گچ بری و آجرکاری محراب مسجد جامع برسیان. پژوهش هنر. ش ۸: ۷۱-۸۶.
- میش مست نهی، مسلم. ۱۳۹۱. کاربرد تحلیل های بلورشناسی در مطالعات فنی آثار تاریخی گچی (مطالعه ی موردی گچ بری کوه خواجه ی سیستان، ملات گچ شادیاخ نیشابور و ملات گچ قلعه الموت قزوین). پژوهش باستان‌سنجی. دوره شماره ۱، ش ۲: ۱-۱۴.
- میش مست نهی، مسلم و عباس عابد اصفهانی. ۱۳۸۶. بررسی تکنیک ساخت آینه و آینه‌کاری در تزئینات معماری ایران: (با نگاهی ویژه به اصفهان دوره صفوی). مرمت و پژوهش. سال ۱، ش ۲: ۴۳-۵۲.
- نوروزی، اعظم. ۱۳۸۷. شناسایی با شیوه‌های هنر گچبری. ماه هنر. ۱۳۸۷: ش ۱۲۰: ۱۰۴-۱۱۰.
- نویمن، پیتتر. ۱۳۶۱. اکتشاف گچی که در آب مقاوم است. اثر، ترجمه محمود خسرو شاهیان. دوره ۳، ش ۷، ۸، ۹: ص ۱۴۱-۱۴۱.
- واثق عباسی، زهیر، رضا مهر آفرین و رسول موسوی حاجی. ۱۳۹۸. تحلیل، گونه‌شناسی و تاریخ‌گذاری گچ بُری های کاخ کوه خواجه. مطالعات هنر اسلامی. دوره ۱۵، ش ۳۵: ۲۳۳-۲۶۱.
- ویسه، سهراب. ۱۳۸۸. ارائه روش‌های مناسب در استفاده از مصالح بوم آورد. مسکن و محیط روستا. ش ۱۲۶.
- ویسه، سهراب. ۱۳۷۸. مصالح بنایی با استفاده از خاک، گچ، آهک و مخلوط آنها. تازه‌های ساختمان و مسکن. ش ۱۵.
- یوسف‌وند، یونس و فرشاد میری. ۱۳۹۵. مطالعه تطبیقی نقوش گچبری های مکشوفه از شهر تاریخی دره شهر با نمونه های مسجدجامع نایین. "پژوهش هنر: ش ۹: ۳۹-۴۵.
- کتاب‌ها
- اصلانی، حسام. ۱۳۹۴. آرایه های گچی در معماری دوره اسلامی اصفهان. اصفهان. پژوهشگاه فرهنگ، هنر و ارتباطات.
- باطبی‌مطلق، یداله و فرشاد دباغیسورکی. ۱۳۹۳. مصالح ساختمانی. تهران: مولفان.
- حامی، احمد. ۱۳۹۹. مصالح ساختمانی. تهران: دانشگاه تهران. چاپ بیست و پنجم.
- شاهنظری، محمدرضا و علی محمدی‌معمد. ۱۳۸۷. مصالح ساختمانی. تهران: صنعت گستر.
- فیروزیار، فهیمه، فاطمه جعفر پور و محمد رضا امید ظهیر. ۱۳۹۸. تحقیق و بررسی به منظور امکان‌سنجی بهبود پایداری گچ در برابر آب با استفاده از افزودنیهای معدنی. تهران: راه، مسکن و شهرسازی.
- انصاری، الهه، و الناز رشوند. ۱۳۹۱. تاریخ هنر گچبری و روش های گچکاری در ایران زمین. تهران: راه نوین.
- امیری بختیار، حسن و عبدالرضا باوی عویدی. ۱۳۸۸. زمین‌شناسی تبخیری های ایران"، شرکت ملی نفت ایران.

- بهزادی مقدم، نرجس، و جواد حسن زاده گوچی. ۱۳۹۲. مهندسی گچ : هندبوک کاربردی دانشجویان و مدیران کیفیت. تهران: سناباد.
- بی باکان سنگ سر، حسین و سید علیرضا آشفته. ۱۳۹۹. کانسارهای گچ در ایران با نگرش ویژه به استان سمنان. تهران: دانشگاه فرهیختگان.
- بزرگمهری، زهره. ۱۳۸۵. آمودهای ایرانی (شناخت، آسیب شناسی و مرمت). تهران: سروش
- پیران، حسین. ۱۳۹۴. گچبر سنتی. تهران: سخنوران.
- تقی زاده قهی، عزت الله. ۱۳۷۸. شناخت مواد و مصالح. تهران: نشر کتاب های درسی.
- جعفر پور، فاطمه و احمد حامی. ۱۳۶۸. گچ : بازنگری. تهران: انتشارات وزارت مسکن و شهر سازی.
- جعفر پور، فاطمه، طیبه پرهیزکار، و بهروز محمد کاری. اصلاح برخی خواص گچ ساختمانی به وسیله مواد افزودنی. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۵.
- خدابنده، ناهید، محمدحسین ماجدیاردکانی، سهراب ویسه، و امیر عشیری. ۱۳۷۹. مصالح بنایی با استفاده از خاک؛ گچ؛ آهک و مخلوطهای آنها در شش استان ایران (بخش دوم). تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- رحیمی، حسن. ۱۳۸۸. مصالح ساختمانی. تهران: دانشگاه تهران.
- زمانی، مهدی و مطفر حیدری مصطفی آبادی. ۱۳۹۰. آشنایی با مصالح ساختمانی : گچ و آهک (جلد ۱). تهران: مهدی زمانی.
- زمر شیدی، حسین. ۱۳۸۱. معماری ایران، اجرای ساختمان با مصالح سنتی. چاپ پنجم، تهران، آزاده.
- زمرشیدی، حسین. ۱۳۷۷. " مصالح شناسی سنتی، تهران، زمرد.
- سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۹۴. استاندارد ملی گچ های ساختمانی. تهران: عمارت پارس.
- سرمد نهري، امير و محسن كردان. ۱۳۸۸. آشنایی با مصالح و فراورده های ساختمانی. تهران، سیمای دانش، چاپ دوم.
- سیف، هادی. ۱۳۸۰. نقاشی روی گچ. تهران: صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران : تهران.
- شیرازی، عارف، عادل شیرازی و حسن کلانکی. ۱۳۹۸. گچ طلای سفید- از طبیعت تا صنعت. تهران : صفر تا صد.
- عباسیان، محمد. ۱۳۷۱. مبانی شیمی فیزیک گچ تولید و کاربرد. تهران: ایران گچ.
- عباسیان، میر محمد. ۱۳۸۴. مبانی شیمی فیزیک مواد کانی غیر فلزی: تهیه و تولید سرامیکها - مواد نسوز - شیشه - گچ - آهک. تهران: جاودان خرد.
- عباسیان، میر محمد. ۱۳۸۹. گچ تولید جانبی و کاربرد. مؤلف.
- عباسیان، میر محمد. ۱۳۸۳. فرهنگ مواد کانی غیر فلزی، مؤلف.
- کارگرانی، مریم و پرندیس طیار. ۱۳۸۸. کاربرد گچ در صنعت سرامیک. تهران: آبگین رایان.
- کباری، سیاوش. ۱۳۸۹. مصالح شناسی. تهران، انتشارات دانش و فن، چاپ بیست و سوم.
- کمالی زاده، طاهره و محسن کمالی زاده. ۱۳۹۵. هنر گچ بری مکتب خراسان (بررسی و آموزش سبک گچبری استاد ابولقاسم کمالی زاده). تهران: سوره مهر.

فیروزیار، فهیمه، فاطمه جعفرپور، و محمدرضا امیدظهير. ۱۳۹۹. افزایش سختی سطحی اندودهای گچی با افزودنیهای ضایعاتی XPS و گرد آجر. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

گرامی نژاد، ابوالقاسم. ۱۳۸۵. گچ کاری. چاپ اول، تهران، اتحاد.

محمدی، امیر علی. ۱۳۹۱. معماری، بنا و مصالح. تهران: قلم مهر.

محمدی، قدرت‌الله. ۱۳۹۷. مصالح ساختمانی و آزمایشگاه (قابل استفاده دانشجویان و مهندسين رشته‌های عمران، آب، معماری، معدن، نفت، زمین‌شناسی و نقشه‌برداری. تهران: شرح.

مطیفی فرد، مرتضی. ۱۳۹۱. گچ بری: احیای هنرهای از دست رفته. تهران: نقش‌مانا.

موحدی، مهرداد و الهام چیتگری. ۱۳۹۲. اکتشاف و کاربرد سنگ گچ. تهران: راز نهان.

همایش‌ها

آدوسی، بنت الهدی، محسن هادی زاده و مسعود زینی. ۱۳۹۴. تاثیر طرح بافت پارچه بر روی مقاومت خمشی کامپوزیت‌های گچ. سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری.

اصلانی، حسام. ۱۳۷۵. بررسی فرایند های تخریبی امواج صوتی در آثار تاریخی- فرهنگی. پژوهش‌کده حفاظت آثار تاریخی و فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری، تهران، سازمان میراث فرهنگی کشور.

زهره مطلبی، حسام اصلانی. ۱۳۹۲. فن‌شناسی مرمت تزئینات کاشی معرق‌گنبدها و ارائه راهکارهایی جهت بهبود روند مرمت آن (مطالعه موردی: گنبد مسجد جامع عباسی). نخستین همایش فناوری و سازه‌های سنتی با محور گنبدها.

بازرگان، جلال و رضا وحدت. ۱۳۹۲. ارزیابی تغییر شکل‌پذیری مصالح ژئوپس و انیدریت. "هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران.

باقری، بهنام و احمد منشی. ۱۳۸۹. ساخت محصولات گچی با خواص بهبود یافته با استفاده از مواد افزودنی. اولین همایش ملی سازه، زلزله، ژئوتکنیک.

علی‌بازی، علی. ۱۳۹۵. بررسی خواص چسب‌های طبیعی بر روی گچ. "دومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی.

نجفی‌کانی، ابراهیم و زهرا رجبی. ۱۳۹۱. بررسی اثر پرلیت در سبک‌سازی محصولات گچی. دومین همایش ملی گچ.

نجفی‌کانی، ابراهیم، وطنیان‌شان‌جانی، آزاده و ساجده سادات هاشمی‌پور. ۱۳۹۱. بررسی محدوده‌دمایی تشکیل انیدریت در گچ و پلاسترهای گچ، دومین همایش ملی گچ.

محمودی، امین و سیدمحمدرضا امام. ۱۳۹۷. مطالعه آزمایشگاهی و آرایه یک رابطه مقدماتی برای انحلال سنگ‌های ژئوپس و انیدریت. سومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران.

کمجان، نسیم و مریم طبایان. ۱۳۹۵. شناخت مواد و ساختار تشکیل‌دهنده آرایه‌های گچی ایوان سردر پیاده‌عمارت مسعودیه تهران. "دومین کنفرانس شهرسازی، مدیریت و توسعه شهری.

کریمی فرد، حمید و ابراهیم نجفی‌کانی. ۱۳۹۱. بررسی اثر توزیع دانه‌بندی بر زمان گیرش، مقاومت فشاری و نیاز به آب پلاستر گچ-ارزیابی ۱۲ محصول. دومین همایش ملی گچ.

خنجری دولت آبادی، رضا و سوگند نقوی. ۱۳۹۶. کاربرد میکروسکوپ الکترونی روبشی در شناسایی شیوه ساخت ملات گچی. سومین همایش ملی باستان‌شناسی ایران.

عطاپور، علی و فرامرز هرمزی. ۱۳۸۵. مدلسازی کوره دوار گچ. یازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران.

قدس، علی. ۱۳۹۱. تاثیر افزودنی‌ها بر گیرایش و مقاومت فشاری و خمشی گچ ساختمانی. دومین همایش ملی گچ.

محمدی، رضا. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر کلرید سدیم و سولفات آلومینیوم بر زمان گیرش گچ. کنفرانس بین‌المللی نوآوری در علوم و تکنولوژی.

تدین‌فر، غلامرضا و ریحانه رضانی. ۱۳۹۹. بررسی تاثیر برخی مواد مضاف و مقادیر آن‌ها بر زمانهای گیرش گچ گیپتون سومین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران.

هاشمپور، معصومه، آرزو اسعد سامانی و علی حیدری. ۱۳۹۵. بررسی مشخصات ملات گچ - سیمان فراوری شده با نانوسیلیس. سومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری.

منصوری، سمیه. ۱۳۹۸. مقایسه تاثیر مقادیر مختلف گچ بر مقاومت فشاری سیمان در کارخانه سیمان خاش و سیمان الجزایر. ششمین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری.

سلطانی، مریم، فروغ ترابی و محمدرضا توکلی زاده. ۱۳۸۷. بررسی زمان گیرش، حد متعارف، مقاومت فشاری و برخی دیگر از خواص ملات گچ. چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور.

صالحی کاخکی، احمد و حسام اصلانی. ۱۳۹۰. رده بندی تزئینات گچی از دیدگاه فن‌شناسی در آرایش معماری دوران اسلامی"، باستان‌شناسی ایران در دوران اسلامی، دانشگاه بوعلی سینا، ۱۳۹۰.

سهیلاسادات، هاشمی و مجید باقرنژاد. ۱۳۸۸. بررسی شکل‌های میکروسکوپی گچ با کمک تصاویر SEM. در خاکهای گچی استان فارس. یازدهمین کنگره علوم خاک ایران.

خرمالی، فرهاد. ۱۳۸۴. کاربرد آنالیز تصویر و روش‌های میکروسکوپی در تخمین مقدار گچ و تخلخل خاک‌های گچی". نهمین کنگره علوم خاک ایران.

محمدی، رضا. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر کلرید سدیم و سولفات آلومینیوم بر زمان گیرش گچ. کنفرانس بین‌المللی نوآوری در علوم و تکنولوژی.

پایان نامه و گزارش کار

اصلانی، حسام. ۱۳۹۱. فن‌شناسی آرایه‌های گچی در معماری ایران دوره اسلامی. رساله دکتری دانشگاه هنر اصفهان: منتشر نشده.

آخوندزاده، مریم. ۱۳۹۰. مرمت بخشی از مقرنس گچی محراب مسجد مجموعه سلطان بندر آباد مربوط به دوره تیموری. پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

- آریا نسب، سیمین. ۱۳۸۹. حفاظت و مرمت تزئینات گچ بری سیمگل در ضلع شرقی خانه ی داوید. "پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- آزاد فر، رامین. ۱۳۹۷. حفاظت و مرمت بخشی از گچبری های و تزئینات آینه کاری دیوار شرقی شاه نشین عمارت کلاه فرنگی ماکو. "پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اسلامی تبریز. منتشر نشده.
- بهابادی، ۱۳۸۸. محمد علی. "فن شناسی، آسیب شناسی و ارائه راهکار حفاظت و مرمت تزئینات برج رسک مازندران." پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- پور تقی، حامد. ۱۳۸۹. فن شناسی، آسیب شناسی و ارائه طرح حفاظت و مرمت تزئینات گچی محراب بقعه تاریخی پیربکران. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان، ۱۳۸۹: منشتر نشده.
- تقوی نژاد، بهاره. ۱۳۹۶. تزئینات محراب‌های گچبری دوره ایلخانی در ایران تحلیل سبک‌شناختی بر مبنای ترکیب‌بندی و نقشمایه‌ها. "رساله دکتری دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- تولمی، مهدی. ۱۳۹۲. آسیب شناسی و ارائه طرح حفاظت تزئینات گچی محراب مسجد جامع هفتشویه. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- جهان دوست دالتجان، حامد. ۱۳۸۹. فن‌شناسی، آسیب‌شناسی، و ارائهی طرح مرمت کتیبه‌های گچبری نالدرگاه بنای امامزاده شاه احمد قاسم شهر قم (قرن هشتم ه.ق). "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان - دانشکده پردیس اصفهان. منتشر نشده.
- چیت ساز، حامد. ۱۳۹۳. حفظ و مرمت پنجره گچی مشیک تلفیق شده با شیشه های رنگین متعلق به پژوهشکده میراث فرهنگی استان اصفهان. "پروژه نهایی کارشناس دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- حسین پور، عاطفه. ۱۳۸۹. مطالعات ساختاری فن شناسی بر روی ملات های گچ و خاک ساسانی نیشابور. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- حمید زاده، مرضیه. ۱۳۷۸. "گچ فوری". "پایان نامه کارشناسی ارشد وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه علم و صنعت ایران. منتشر نشده.
- حمزوی، یاسر. ۱۳۸۶. پروژه مطالعه، پژوهش حفاظت و مرمت بقعه پیر بکران. اصفهان، سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان اصفهان.
- حیدری، فرزانه. ۱۳۹۱. بررسی فن شناختی نوعی از تزئینات گچی زیر گنبد سلطانیه. "پایان نامه کارشناسی ارشد هنر اصفهان. منتشر نشده.
- خنجری، رضا. ۱۳۹۱. فن شناسی و آسیب شناسی قطعات منسوب به کتیبه ی گچبری محراب مسجد کوشک فردوس و ارائه ی راهکارهای حفظ و مرمت. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- دهقانی، اختر. ۱۳۹۳. مطالعه فن شناسی و آسیب شناسی گچ بری های تپه میل شهر ری و ارائه راهکارهای محافظتی. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی - دانشکده هنر و معماری. منتشر نشده.
- راشد نیا، زهرا. ۱۳۹۳. مطالعه ویژگی های تزئینی آثار گچ بری هنرمندان کرمانی و پراکندگی آن در قرن هشتم ه.ق. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

رحمتی، یاسمن. ۱۳۹۲. شناسایی روش های مناسب مرمت کمبودها در آرایه های گچی با نگرشی ویژه بر محراب های قرن هشتم هجری ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

رضایی کرماجانی، مریم. ۱۳۸۹. مطالعه ملات چسباننده منسوب به دوره ساسانی در بنای معبد آناهیتا کنگاور. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

رهبری، احمد. ۱۳۶۲. هنر گچبری در معماری اسلامی (بناهای مذهبی قرن هشتم اصفهان). "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

سبحانی حاجی آبادی، افسانه. ۱۳۹۶. حفاظت و مرمت از تزئینات گچبری روی سیم کاهگل راهروی جبهه جنوب شرقی خانه داوید اصفهان. "پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

سبحانی حاجی آبادی، افسانه. ۱۳۹۹. شناخت فنی پنجره های گچی شیشه‌دار برای یافتن روش بازسازی (بررسی موردی پنجره مشبک گچی متعلق به پژوهشکده میراث فرهنگی اصفهان). "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

سلیمیان، اعظم. ۱۳۹۲. بررسی خواص مکانیکی ملات گچ تقویت شده با پارچه‌های شبکه‌ای. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه یزد، پردیس فنی و مهندسی - گروه مهندسی نساجی. منتشر نشده.

شالیکاریان، میلاد. ۱۳۸۸. استحکام بخشی یک نمونه کتیبه گچ بری مربوط به دوره قاجار واقع در بقعه چهار پادشاهان لاهیجان. پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

شعر باف، محمد. ۱۳۹۰. فن شناسی تزئینات داخلی گنبد شمالی بقعه ی درب امام اصفهان و ارائه ی راهکارهای حفاظتی. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

شعر باف، محمد. ۱۳۸۷. مرمت بخشی از تزئینات تنگ بری کاخ هشت بهشت اصفهان. "پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

شمسه، روزبه. ۱۳۹۶. امکان‌سنجی دستیابی به شیوه مناسب بازسازی قسمتهای کمبود آرایه‌های کپیری کاخ هشت‌بهشت اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

شیروانی، مریم. ۱۳۸۵. مرمت بخشی از تزئینات اتاق ضلع جنوبی طبقه همکف ارگ کریم خانی شیار. "پروژه کارشناسی دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

شیشه بری، طاهره. ۱۳۸۸. حفاظت و مرمت بخشی از کتیبه گچی ضلع غربی مقبره ملا اسماعیل یزد. "پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اصفهان. ۱۳۸۸: منتشر نشده.

عبدلی، ساجده. ۱۳۸۶. حفاظت و مرمت بخشی از تزئینات گچ بری و نقاشی روی آینه ی خانه امام جمعه تهران. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.

عمادی خراجی، احمد. ۱۳۹۵. حفاظت و مرمت تزئینات گچبری در خانه داوید. "پروژه نهایی کارشناسی هنر اصفهان. منتشر نشده.

غفاری، سهیلا. ۱۳۹۴. مبانی و اصول حفاظت و مرمت گچ بری های تاریخی و فرهنگی. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر - دانشکده هنرهای کاربردی. منتشر نشده.

فتوحی لاسیپی، مرتضی. ۱۳۹۰. فن شناسی، آسیب شناسی و طرح مرمت تزئینات گچ بری بقعه امامزاده خدیجه خاتون قم. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر - دانشکده هنرهای کاربردی. منتشر نشده.

- فرح بخش، مهسا. ۱۳۸۹. حفاظت و مرمت تزیینات گچ بری روی سیم گل در خانه داوید. "پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- کاظمیان، میثم. ۱۳۹۲. فن‌شناسی، آسیب‌شناسی و ارائه‌ی طرح حفاظت و مرمت آرایه‌های گچی بند آجری مسجد جامع عتیق اصفهان. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- کریمی فرد، مصطفی. ۱۳۹۵. تحلیل روش‌های بازسازی تزیینات گچبری در معماری بومی ایران. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر تهران - دانشکده حفاظت، مرمت اشیاء و ابنیه تاریخی. منتشر نشده.
- کور اوغلی، یلدا. ۱۳۹۷. مطالعه و مستند نگاری تزیینات آینه و گچبری دیوار غربی اتاق شاه نشین عمارت کلاه فرنگی و مرمت بخشی از آن. "پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اسلامی تبریز. منتشر نشده.
- گوشه، فاطمه. ۱۳۹۰. بررسی سیر تحول تنگ بری در ایران و ارائه‌ی راهکار حفظ و مرمت تنگ بری‌های شاه نشین خانه‌ی مارتا پیترز. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- محمد پور، علی. ۱۳۹۸. حفاظت و مرمت آرایه گچی برجسته متعلق به خانه بهنام تبریز (ضلع جنوب غربی). "پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- مودنی، فرشاد. ۱۳۹۱. ارائه راهکارهای عملی استفاده از سطوح بافت دار گچی به منظور بازسازی کمبود در اندودها و تزیینات گچی معماری. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- میرزاده، علی اکبر. ۱۳۷۶. بهینه‌سازی گچ در سیمان‌های مخلوط. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علم و صنعت ایران. منتشر نشده.
- میرنیا، آصفه. ۱۳۸۸. کاربرد گچ در تزیینات وابسته به معماری دوره قاجار در شهر یزد، مطالعه کاربردی: خانه شیخ الاسلام. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- میش مست نهی، مسلم. ۱۳۸۵. تحلیل فن‌شناسی، وضعیت حفاظتی و مدل سازی آسیب‌شناسی گچبری‌های کوه خواجه سیستان. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. منتشر نشده.
- نامدار، سعیده. ۱۳۹۶. حفاظت و مرمت آرایه گچی (بخاری دیواری) مسجد میر پنج خامنه (منسوب به دوره قاجار). "پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اسلامی تبریز. منتشر نشده.
- نگارستانی، علی اصغر. ۱۳۹۹. حفاظت و مرمت بخشی از آرایه مرسوم به کشته بری متعلق به مدرسه کاروانسرای گنجعلی خان کرمان. "پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اسلامی تبریز. منتشر نشده.
- نوروزی، مهران. ۱۳۹۲. شناخت ویژگی‌های تزیینات گچی خانه میرمیران ورزنه و مطالعه تطبیقی آن با خانه پیرنیا در نایین. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان - پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار فرهنگی و تاریخی. منتشر نشده.
- نیکوییان صرمی، ابوالفضل. ۱۳۹۰. فن‌شناسی، بررسی مکانیسم فرسایش گچ و بهینه سازی گچ مرمتی در گچبری‌های مدفون شهر تاریخی پریم ساری. "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی - دانشکده هنر و معماری. منتشر نشده.
- ولی پور، فریبرز. ۱۳۸۶. مطالعه فنی و آسیب‌شناسی محراب مسجد جامع اورمیه و ارائه طرح حفاظت و مرمت. "پایان نامه کارشناسی دانشگاه هنر. منتشر نشده.

یعقوب زاده ، حامد. ۱۳۹۹. "حفاظت و مرمت بخشی از کتیبه گچی بقعه امین الدین جبرائیل(شیخ کلخوران اردبیل)". پروژه نهایی کارشناسی دانشگاه هنر اسلامی تبریز. منتشر نشده.

استانداردها

- " گچ پلاستر قالب گیری - روش های آزمون فیزیک. " شماره استاندارد: ۵۴۸۱
- " روش های نمونه برداری از سنگ گچ ژئوپس. " شماره استاندارد: ۲۲۸۹
- " گچ- چسباننده های پایه گچی مورد استفاده در بلوک های گچی- تعاریف- الزامات و روش های آزمون. " شماره استاندارد: ۱۲۸۰۶
- " گچ- سنگ گچ- گچ استریش و بتن گچی- روش های آزمون شیمایی. " شماره استاندارد: ۵۰۲۹
- " گچ- گچ های ساختمانی و اندود های گچی آمده - قسمت اول- ویژگی ها. " شماره استاندارد: ۱۲۰۱۵-۱
- " گچ- گچ های ساختمانی و اندود های گچی آمده - قسمت دوم- روش های آزمون. " شماره استاندارد: ۱۲۰۱۵-۲
- " گچ های ساختمانی- روش های آزمون فیزیکی. " شماره استاندارد: ۵۴۸۲
- " مجسمه های گچی ویژگی ها و روش های آزمون. " شماره استاندارد: ۱۴۷۰۱
- " مصالح ساختمانی- واژه نامه- گچ و فراورده های گچ و سامانه های وابسته. " شماره استاندارد: ۱۰۷۴۲
- " ویژگی های سنگ گچ. " شماره استاندارد: ۵۰۳۰
- " ویژگی های سنگدانه های معدنی مورد استفاده در گچ ساختمانی. " شماره استاندارد: ۵۰۳۳

آنالیز، مدل سازی و ترویج ارزش های ملموس و غیرملموس بناهای تاریخی دارای سیستم های روشنایی شامل مشعل و پیه سوز^۱

نویسندگان: P. Lassandroa, C.S. Fioriello, M. Leporea, M. Zonno

برگردان: فرشته عباسی

دکتری زیست شناسی سلولی و تکوینی در گیاهان دانشگاه علوم تحقیقات تهران و دانشجوی کارشناسی مرمت آثار تاریخی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

(ferryabbasi@gmail.com)

چکیده

هدف از این تحقیق، تعیین روشی چند رشته ای است که قادر به افزایش ارزش های ملموس و غیرملموس میراث تاریخی - فرهنگی از طریق بازسازی مجازی سیستم های روشنایی داخلی شامل مشعل و پیه سوز است. بررسی توسط اسکنر لیزری و یا با استفاده از فتوگرامتری دیجیتال و مدل سازی جامد، تکنیک های مورد استفاده برای انجام بازسازی های سه بعدی مصنوعات بودند. مدل سه بعدی پایه ریزی شده براساس مستندات باستان شناسی و تاریخی می تواند سناریوهای روشنایی را براساس فرضیه های مختلف تاریخی و بازسازی چراغ های استفاده شده، مشخص نماید. در عوض، آزمایشات آزمایشگاهی روی شعله باعث شد، پارامترهای علمی مرجع برای بازسازی مجازی سناریوهای روشنایی مورد استفاده قرار گیرد. این روش در دو مطالعه موردی مختلف تأیید شده است. اولین مورد یک کلیسای غاری در Matera است، که یک بنای مذهبی قرون وسطایی می باشد که در دره تنگ و عمیق ساخته شده است و دارای نشانه های معماری آشکار است که امکان

^۱ مقاله فوق ترجمه مقاله زیر است:

Analysing, modelling and promoting tangible and intangible values of building heritage with historic flame lighting system, Journal of Cultural Heritage 47 (2021) 166–179

شناسایی سیستم های روشنایی باستان را فراهم می کند. مورد دوم یک خانه ییلاقی رومی در Mola di Bari است. در این مکان باستانی ویران شده چندین پیه سوز پیدا شده است، که به لطف آنها امکان شروع مطالعه نور فراهم شد. سناریوها و طرحهای روشنایی بدست آمده از این تحقیق، علاوه بر ایجاد مشارکت میان پژوهشگران، باعث ارتقا آرایه های معماری و ترویج دانش تاریخی مربوط به آنها، برای نسل های آینده شده است. واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و تجسم سه بعدی آنلاین می تواند از جمله کاربردهای احتمالی این تحقیق برای افزایش ثمر و باروری میراث فرهنگی باشد.

کلمات کلیدی: سناریوهای روشنایی، روشنایی مصنوعی با شعله، چراغ های روغنی، بررسی دیجیتالی

مقدمه

تا قرن نوزدهم و کشف الکتریسیته، منبع اصلی روشنایی مصنوعی، آتش بود و تمام وسایلی که انسان تاکنون برای تولید نور استفاده کرده است، شامل وسایل نگهدارنده، سیستم روشنایی بر پایه آتش بود [۱]. آنها در شکل های متنوع هستند و به یک منطقه و دوره خاص محدود نمی شوند. با این وجود تفاوت اصلی آنها در سوخت و نوع ظرف است [۲-۴].

از دوران باستان تا قرون وسطی، اسباب و وسایل مختلف نور مصنوعی، مانند مشعل ها، شمع ها و لامپ ها بدون تغییرات اساسی، استفاده می شدند. از این وسایل نه تنها برای انجام فعالیت های بعد از غروب آفتاب بلکه برای سایر کارها (به عنوان مثال برای مراسم و اهداف مذهبی) استفاده می شد. از شروع دوره رومی، لامپ های سفالین لوله دار (spouted terracotta lamps) وسیله اصلی روشنایی بودند و این اشیا تقریباً در هر کاوش در سراسر مدیترانه یافت می شوند، و همچنین شاخص خوبی برای تعیین قدمت بافت فراهم می کنند [۵-۷].

علاوه بر این، مطالعات در مورد یافته های لامپ ها، طیف گسترده ای از اطلاعات در رابطه با تیپولوژی لامپ، گاهشماری، شمایل نگاری (پیکر نگاری) و تولید را ارائه می دهد [۸]. اما، همانطور که اخیراً بسیاری از محققان اشاره کرده اند [۹،۴،۶]، نور مصنوعی خاص، اگرچه یک عامل حیاتی در نیازهای روزمره انسان است، اما در پژوهش های باستان شناسی تا حد زیادی نادیده گرفته شده است. طبق گفته O'Dea [۱۰]، "این ممکن است به دلیل دشواری توصیف ظاهر نور باشد"، از آنجاییکه "توصیف شمعدان آسان است، اما انتقال تصویری از نور حاصل از شمع بسیار دشوار است". بنابراین، ترکیب و آمیختن نتایج روش های باستان شناسی سنتی، داده های تجربی و قابل اندازه گیری و ابزارهای علمی برای یافتن اطلاعات مربوط به تولید روشنایی در روزگار باستان ضروری است [۱۰،۷].

در واقع، این تحقیق، در مورد نور در دوران باستان، به سختی و فقط با کمک متن‌های خاص و مطالعات موردی به منظور جمع آوری منابع کتابخانه‌ای و بررسی هنر، فن شناسی، آئین و فعالیت‌های انسانی مرتبط با استفاده از وسایل روشنایی، انجام گرفته است [۱۴-۱۱، ۴، ۳]. با این وجود، تحقیقاتی وجود دارد که نمای کلی و بررسی اجمالی از ارزیابی عملکرد ابزار و اسباب روشنایی باستانی را ارائه می‌دهد که می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد شرایط نوری که در خانه‌های باستانی و فضاهای بیرونی وجود داشته است، در اختیار محققان قرار دهند. مطالعات دیگری در مورد سطح راحتی بصری نوری ایجاد شده، با استفاده از این ابزار (و تجهیزات همراه)، در مورد توسعه معماری و رشد استفاده از نور مصنوعی، در مورد مدل سازی اندازه و مقدار مصرف سوخت و امکان فعالیت‌های انجام شده در طول شب انجام شده است. به هر حال، مسئله این است که یافتن و ثبت آنها در یک محوطه باستانی و سپس تجزیه و تحلیل توزیع فضایی ابزار و وسایل روشنایی در سراسر ویلا (یعنی جایی که تجهیزات روشنایی مورد استفاده بوده است). بسیار دشوار است. با این حال، پیگیری داده‌ها و نگرش مقایسه‌ای معمول علوم باستان شناسی فرصت‌های زیادی را برای مطالعات متنی و بررسی برخی استفاده‌های مکانی-زمانی از فضاهای داخلی بنا را که جنبه‌های فعالیت اجتماعی را در شب منعکس می‌کند، فراهم می‌نماید [۱۸-۱۵].

اگر از یک سو، در ساختمانهای عمومی و اجتماعی نور به ویژه در طول شب مهم بود، از سوی دیگر در مکانهای مذهبی نور نقش نمادین و عاطفی داشت. در واقع، نور فیزیکی شعله‌ور مصنوعات (ملموس)، نه تنها درک رنگی و بصری از محیط اطراف را تضمین می‌کند، بلکه باعث ایجاد جو و احساسات ذهنی بر روی اشیاء (ناملموس) می‌شود که جنبه‌های خاص یک جامعه، تمدن و دین را نشان می‌دهد [۱۹]. در مورد مراسم مذهبی، روشنایی مصنوعی در کلیساهای قرون وسطایی بسیار مهم بود، و توسط اسناد معتبر و توسط یافته‌های تاریخی، نشان داده شده است. برعکس، اسناد مربوط به کلیساهای صخره‌ای این دوره، مربوط به منطقه جنوب مدیترانه (به عنوان مثال ایتالیا و آناتولی در دوره بیزانس)، ناکافی است و بنابراین باید مطالعات بیشتری در رابطه با آنالیزهای مخصوص، سیستم‌های نوری مورد استفاده در آن دوره، انجام بگیرد. در سطح علمی، امروزه تکنولوژی‌های مختلفی برای ایجاد مدل‌های سه بعدی وجود دارد که می‌توانند ویژگی‌های پیچیده هندسی و مادی مصنوعات را با استفاده از منابع تاریخی بازگردانند [۲۳-۲۱، ۳، ۱]. در برخی موارد، مدل‌های سه بعدی مبتنی بر عناصر کمیاب هستند و تقریباً تمام بازسازی مجازی انجام می‌گیرد، در حالیکه در موارد دیگر، که مصنوعات کاملاً یا تا حدی کامل هستند، استفاده از تکنیک‌های پیشرفته بررسی دیجیتال، غالب است [۲۷-۲۴]. مدل‌های سه بعدی مبتنی بر واقعیت، که با استفاده از سنسورهای اپتیکال سه بعدی تولید شده‌اند، مانند روش‌های فعال (به عنوان مثال اسکنر لیزری) و غیرفعال (به عنوان مثال روش فتوگرامتری)، موضوع مطالعات زیادی بوده‌اند، که پتانسیل و محدودیت‌های آنها را برجسته کرده‌اند [۳۱-۳۰-۲۸]. آخرین

تحولات نشان داده است که ادغام دو تکنیک بررسی دیجیتال راه حل های مفیدی را در رابطه با صحت هندسی و بازگرداندن واقع بینانه آنها از طریق ابزار و اپلیکیشن texture نشان می دهد [۳۶-۳۲].

بنابراین، ترکیب این دو تکنیک، همچنین در ارتباط با مطالعات سناریوهای روشنایی تاریخی، به مطالعات عمیق و خاصی نیاز دارد، مانند جزئیات، پیچیدگی های خاص و یا سودمندی آنها برای بازسازی سناریوهای روشنایی (مجسمه ها و تندیس ها، نقاشی های دیواری، طاقچه ها، غارها، نوشته ها و عناصر معماری و غیره).

برخی مطالعات و کاربردها در مورد نور طبیعی و مصنوعی میراث فرهنگی انجام گرفته است. این مطالعات، بر اساس استانداردهای مورد نیاز، برای نگهداری و حفاظت از میراث فرهنگی به ویژه برای موزه ها انجام شده است [۳۷-۳۸]. در عوض، به طور کلی، مسئله میراث تمایل به مقاومت در برابر آنالیزهای علمی دارد، حتی اگر این آنالیز بتواند یک پشتیبانی معتبر برای ارزیابی نور از نظر عملکرد و حساسیت به نور مواد را از طریق عملکرد جدید نرم افزار 3D ارائه بدهد [۳۹]. در هر صورت، باید نور طبیعی یا شعله را با پارامترهای فیزیکی آنها که از طریق آزمایش اندازه گیری شده اند، ترکیب کرد.

بنابراین، مطالعات تاریخی باید با مطالعات علمی ترکیب شود تا ابزاری برای ارزیابی کارایی ابزار و وسایل روشنایی مشخص شود و برای کارشناسان مهندسی غیر روشنایی و نور (به عنوان مثال باستان شناسان، مورخان و غیره) امکان تخمین مقدار نور ساطع شده روی سطح مورد نظر را فراهم نماید. بنابراین، آنها می توانند درک کنند که کاربران می توانند در شرایط کم نور طبیعی به راحتی حرکت کنند و همچنین بیشتر فعالیتهای شبانه خانگی (به عنوان مثال خواندن، نوشتن، بافتن و غیره) را نیز انجام دهند. این امکان وجود داشت چون لامپها (و وسایل مشابه آن) شرایط روشنایی منصفانه و نسبتا خوبی را بر اساس سطح مقبول زمان گذشته ایجاد کرده بودند. علاوه بر عوامل عملکردی، می توان عوامل احساسی و عاطفی و معانی نمادین پیچیده را، براساس یک رویکرد تجربی متدولوژیکی ایجاد شده برای سنجش و ارزیابی نور طبیعی و مصنوعی و ارزش گذاری میراث فرهنگی، به کاربران فعلی ارائه داد [۴۱،۴۰،۲۵،۲۴،۱۷،۹].

هدف تحقیق

تمرکز این تحقیق تعیین روشی برای پرداختن به مسائل مربوط به تولید روشنایی با استفاده از مشعل و پیه سوز از دید فرا رشته ای است، که با ادغام علوم فنی و فناوری اطلاعات و ارتباطات (فناوری اطلاعات و ارتباطات) با علوم انسانی و تاریخی و باستان شناسی، به منظور ارتقا و ترویج دانش ارزشهای ملموس و ناملموس آثار و مصنوعات تاریخی انجام گرفته است. در واقع، نور (با ابزار و وسایل روشنایی) چیزی بیشتر از روشنایی است. نور محیط مادی (ملموس) را قابل مشاهده کرده و به آن شکل می بخشد، اما دارای ارزش فرهنگی و نمادین

(نامحسوس) مرتبط با فعالیت های انسانی یک جامعه است [۴۲]. بنابراین، رویکرد کلی تعریف شده، که شامل ترکیبی از مطالعات منابع اسنادی، یافته‌های بررسی‌های تاریخی و سه بعدی، بازسازی دیجیتال، آزمایش‌های آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل مهندسی نور است، امکان بازسازی سناریوهای روشنایی با استفاده از مشعل و پیه سوز و تعیین میزان نور حاصل از آنها و ارزش نوری آنها را برای استفاده در مطالعات آینده فراهم می‌کند. از این نظر، علم میراث برای محققین کاربردی می‌شود، تا از طریق آن عملکرد واقعی، مجازی و بالقوه آثار و مصنوعات کمی شناخته شده یا مفقود شده، بهبود یافته و اصلاح گردد. این کار همچنین با استفاده از ابزارهای تکنولوژیکی نوآورانه و خلاقانه مانند واقعیت مجازی و افزوده انجام می‌گیرد.

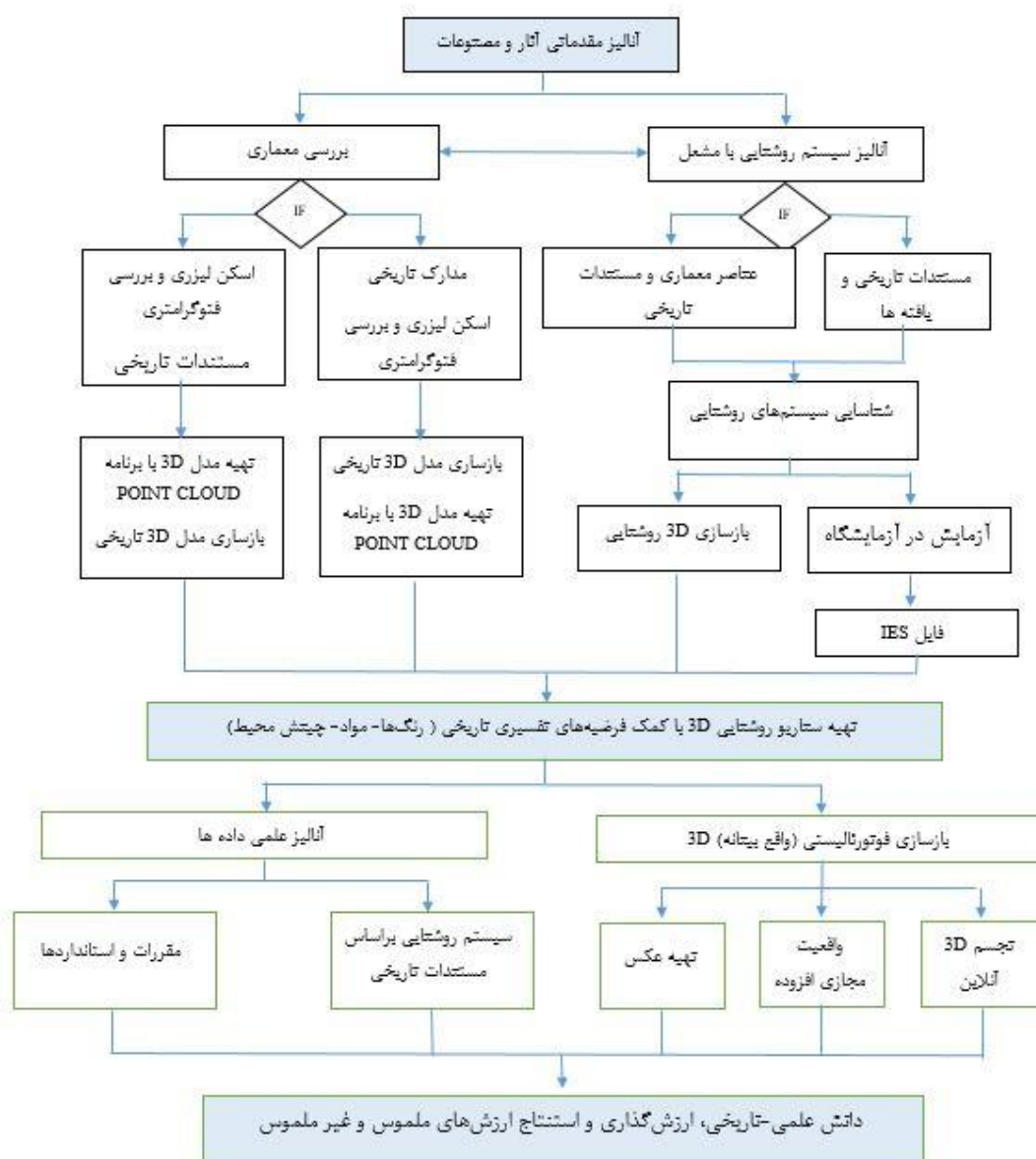
روش شناسی

رویکرد متدولوژیکی، نشان داده شده در شکل ۱، شامل آنالیز مقدماتی آثار و مصنوعات در رابطه با جنبه‌های مختلف، مانند محل، جنبه‌های ساخت فنی، وضعیت حفاظت و اسناد تاریخی مربوط به سیستم‌های روشنایی است. سپس، یک تحقیق دقیق برای تفهیم و درک مدل سه بعدی با استفاده از تکنیک‌های بررسی دیجیتال برای تمام آثار و مصنوعات یا برای ویرانه‌های تاریخی و مناطق باستان‌شناسی دنبال می‌شود. بنابراین، می‌توان فرضیه‌های قابل قبول را تدوین کرد [۲۷]. روشهای بررسی مورد استفاده، اسکن لیزری و فتوگرامتری دیجیتال هستند که در صورت نیاز به دقت هندسی بالا و واقع بینانه با کیفیت بالا، با یکدیگر ادغام می‌شوند.

از این رو، اطلاعات سه بعدی برای مطالعه نشانه‌ها و آرایه‌های معماری که می‌توانند به سیستم روشنایی تاریخی متصل شوند (طاقچه‌ها، سوراخ‌ها و قلاب‌های لوستره‌های خانگی، آثار دود و علائم تغییر رنگ به دلیل تأثیر گرما بر روی دیوارها و غیره) جمع‌آوری می‌شود و خاصیت تابشی رنگ (رنگ سنجی)، مواد و (بازتابنده) خواص درخشندگی آنها بررسی می‌شود.

در طی مراحل بررسی، باید توجه ویژه‌ای به روشنایی محیط شود تا از اختلاف رادیومتری در تصاویر جلوگیری گردد، چون این اختلاف می‌تواند تهیه یک بافت واقع بینانه را بی اعتبار کند. بنابراین، در بعضی موارد بهتر است که یک مجموعه عکاسی، با چراغ‌های مخصوص، تنظیم شود تا نور محیط را یکنواخت کند و از ایجاد سایه جلوگیری کند.

سپس، مدل‌های سه بعدی آثار و مصنوعات از پردازش داده‌های بررسی، از طریق نرم افزار اختصاصی برای ویرایش و ادیت پوین کلود و مش (Riscan Pro برای اسکن لیزری، Agisoft Photoscan برای فتوگرامتری، Geomagic برای تولید، تعمیر و مدیریت مش) به دست می‌آیند.



شکل ۱: نمودار شرح متودولوژی (روش شناسی)

در مورد مطالعه موردی ویرانه ها یا سایت های باستانی که عناصر قابل مشاهده کوچک هستند، تکنیک های بررسی دیجیتال فقط برای محلی سازی و جهت گیری صحیح و به عنوان نقطه شروع برای مدل سازی سه بعدی، استفاده می شود. این کار عمدتاً یک بازسازی مجازی بر اساس اسناد موجود و مطالعات تفسیری مورخان و باستان شناسان است. در همان زمان، آنالیز آثار و مصنوعات شبیه سازی شده بازسازی شده، امکان ارائه فرضیه جدید در مورد سیستم های روشنایی مورد استفاده در گذشته را نیز فراهم می کند.

یک گام اساسی دیگر مربوط به آنالیز تجربی و آزمایشگاهی، خصوصیات فیزیکی نور تولید شده توسط شعله است که به وسیله‌ی تولید یک دستگاه خاص طراحی شده تک کاره و موقت ایجاد می‌شود. به طور مشخص، می‌توان یک گونیوفوتومتر برای تشخیص پارامترهای روشنایی در زوایای مختلف با توجه به ظروف ساخته شده از مواد مختلف (خاک رس، شیشه، و غیره) و سوخت (چربی‌ها، روغن زیتون، روغن لنتیسک و غیره) ساخت و ایجاد کرد.

این مرحله آزمایشی یک مرحله اساسی و مهم برای بدست آوردن فایل‌های IES است، که شامل مشخصات طیف سنجی نور شعله، در اشکال مختلف است.

با استفاده از نرم افزار مدل سازی سه بعدی و با همکاری مورخان، می‌توان ابزار و وسایل باستانی مورد استفاده برای روشنایی داخلی (مشعل، لامپ، لوستر و غیره) را به طور واقعی بازسازی کرد. سپس، فایل‌های IES که به طور آزمایشی و تجربی بدست آمده است، را از طریق نرم افزار اختصاصی (3DStudio Max, Dialux, Relux و غیره) که دارای توانایی مدیریت تابش و ویژگی‌های نورسنجی مواد (زبری، بازتابندگی، ارائه رنگ سنجی و غیره) هستند، آنالیز کرد.

بعضی از نرم افزارها مانند 3DMax، برای بازتولید هندسه‌های نامنظم و بی قاعده و جزئیات مهم (نقاشی‌ها، نقاشی‌های دیواری (فرسک)، عناصر مجسمه سازی و غیره) و برای مدیریت سناریوهای پیچیده مناسب هستند. ایجاد سناریوهای روشنایی امکان تجزیه و تحلیل علمی میزان روشنایی و درخشندگی از یک سو و بازگرداندن واقع بینانه شرایط نوری را از طرف دیگر فراهم می‌کند.

داده‌های روشنایی با استفاده از عملکرد نرم افزارهای ویژه (مانند نورسنج و کنترل نمایش شبه رنگ در 3DStudio Max و روشهای محاسبه در دیالوکس) بدست می‌آیند. این کارکردها می‌توانند سطح روشنایی و درخشندگی را در برنامه‌های آنالیزی موجود در صحنه، با توجه به وظیفه بصری و سطح عملکرد مورد نیاز، اندازه‌گیری کنند.

بازسازی واقع بینانه اثر، صحنه نگاری تاریخی را از نظر درک بصری و احساسی بازتولید می‌کند. هر دو نتیجه برای تأیید فرضیه‌های تاریخی-تفسیری سناریوهای روشنایی طبیعی، مصنوعی و ترکیبی مفید هستند.

جمع بندی تمام این اطلاعات، هندسی و فوتورئالیستی، در یک فضای مجازی سه بعدی امکان استفاده و دید نوآورانه و خلاقانه از آثار و مصنوعات را فراهم می‌کند. علاوه بر این، انتشار آنلاین مدل سه بعدی توسط Sketchfab یا به ویژه توسط 3DHop viewer آزمایشی (ارائه دهنده آنلاین 3D Heritage) انجام می‌گیرد [۴۳] و آخرین مورد ارائه ترکیبی مرتبط با اطلاعات تاریخی-تفسیری اضافی و داده‌های علمی در مورد روشنایی را امکان پذیر می‌کند.

مطالعات موردی

روش مورد نظر، برای اعتبارسنجی، دو تحقیق در مورد دو مکان که دارای دو دوره تاریخی متفاوت بوده و وضعیت حفاظت، نوع ساخت و استفاده متفاوت داشتند، استفاده شد. در هر دو مورد، ابزار و وسایل روشنایی مانند مشعل و پیه سوز که با کمک آتش روشنایی ایجاد میکنند، وجود دارد که به تهیه سناریوهای روشنایی طبیعی، مصنوعی و ترکیبی کمک می کند.

دو اثر مورد بررسی عبارتند از: کلیسای صخره ای قرون وسطایی سانتا باربارا در Matera (شکل ۲ (a)) و ویلا رومی در Mola di Bari-BA (شکل ۲ (b)).

بررسی تاریخی، بررسی سه بعدی و بازسازی دیجیتالی کلیسای صخره ای سانتا باربارا

کلیسای سانتا باربارا به این دلیل انتخاب شده است که دارای ویژگی های خاص و مناسب برای مطالعه سیستم روشنایی با مشعل و آتش است. این کلیسا نمونه ای از معماری بیزانس مربوط به قرن ۱۱-۱۰ بعد از میلاد مسیح است و نقاشی های Angevin کلیسای سانتا باربارا مربوط به قرن ۱۶-۱۵ است. این کلیسا بخشی از مجموعه کلیساهای غاری است که در داخل دره ای در ساسی واقع در Matera قرار دارد [۴۴-۴۶].

این یک ارگانیزم معماری دست نخورده است که کاملاً در سنگ حفاری شده است. به دلیل پیچیدگی آثار و مصنوعات و وجود نقاشی های فرسک روی دیوارها، برای به دست آوردن یک مدل مبتنی بر واقعیت، بازسازی دیجیتال سه بعدی آثار از طریق تلفیق تکنیک های بررسی دیجیتال با اسکنر لیزری (Riegl VZ400) و فتوگرامتری دیجیتال (3DEYE)، یک سیستم فتوگرامتری با یک میله تلسکوپی) انجام گرفت [۴۷،۴۸]. برای اطمینان از اینکه سطح به صورت کاملاً یکنواخت روشن شده است، سیستم 3DEYE توسط دو لامپ LED بر روی یک ساختار فوق العاده سبک و موقت تقویت شد و مستقیماً به تکیه گاه دستگاه متصل شد. بسط و توسعه مدل با استفاده از نرم افزار اختصاصی (Riscan Pro, Geomagic Wrap, Agisoft Photoscan) بدست آمد که مدل سه بعدی نهایی را که برای برای مطالعه سناریوهای روشنایی به نرم افزار 3dStudio Max وارد شده بود، بازگرداند.

ورودی کلیسا در شمال شرقی واقع شده است، تنها ورودی هندسی ساختمان است که فقط در ساعات اولیه صبح پرتوی از نور طبیعی را به داخل منتقل می کند. بنابراین، نور طبیعی محدود است و برای انجام مناسک مذهبی حتی در ساعات روشنایی روز نیز به نور مصنوعی نیاز است. کشف دو چراغ روغنی در داخل کلیسا [۴۵] و آنالیز محل از طریق بررسی دیجیتال، تأیید می کند که طاقچه های موجود در دیوارها مکان های

احتمالی قرارگیری منابع نوری بوده‌اند [۴۹]. در حقیقت، در سالن مرکزی، دو طاقچه (cm H. 0.22 x W. 0.21 x D. 0.21) شناسایی شده است، یکی در سمت راست و دیگری در سمت چپ درب ورودی، به ترتیب در ۲ متر و ۲٫۵ متر از کف قرار دارند. طاقچه دیگر در جناح کلیسا در دیوار راست با ابعاد مشابه در ارتفاع ۱٫۵ متر قرار دارد (شکل ۲ (a)). علاوه بر این، بازسازی دیجیتال در سالن مرکزی یک سوراخ عمیق در سنگ سقف را در محلی همجوار با محل اجرای مراسم مذهبی مشخص کرده است: این موضوع از فرضیه‌ی وجود قلاب برای محل لوستر حمایت می‌کند. منبع [۵۰] وجود لوستر با دوازده ظرف شیشه‌ای (نماد پیامبران) برای روغن را در کلیسای مجاور (Cristo alla Selva) توصیف می‌کند و طرحی از شکل آن را نشان می‌دهد که با مکان مورد نظر سازگار است. بازسازی مدل سه بعدی از لوستر با دوازده یا شش ظرف روغن شیشه‌ای برای روغن، به لطف محققان دیگر امکان‌پذیر شد [۵۱-۵۲].

براساس مطالعات تاریخی، محتمل‌ترین سوختی که برای ظرف‌های شیشه‌ای و لامپ‌های سفالی استفاده می‌شد، روغن لنتیسک [۵۳-۵۵] به جای روغن زیتون بود، زیرا در مناطق rupestrian به راحتی در دسترس بود [۴۵].

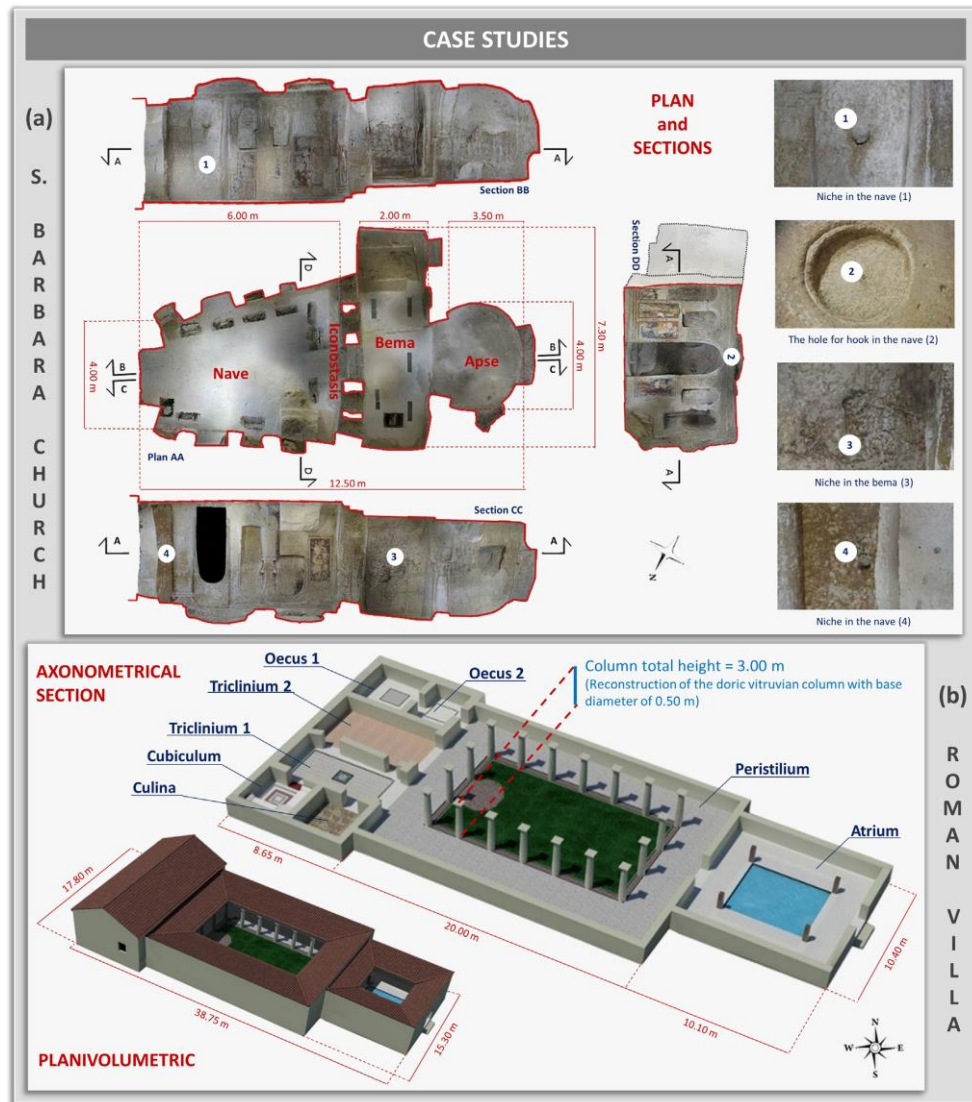
بررسی تاریخی، بررسی سه بعدی و بازسازی دیجیتال ویلا رومی در Paduano در Mola di Bari

ویلا رومی (قرن ۲ قبل از میلاد - قرن ۲ میلادی) در سایت باستانی Cala Paduano، در امتداد سواحل آدریاتیک واقع در حدود ۳ کیلومتری شمال Mola di Bari، جایی که تحقیقات باستان‌شناسی اخیر (۱۹۸۸-۱۹۹۴) [۵۶-۵۸] انجام گرفته، قرار دارد. ویلا به قسمت‌های شهری و روستیکا تقسیم شده است. پارس اوربانا از ۸ اتاق تشکیل شده است و مساحت آن حدود ۶۰۰ متر مربع است. این سایت داده‌های مفیدی را برای فرضیه بازسازی مجموعه در زمان استفاده کامل آن ارائه می‌دهد.

قسمت مسکونی روی ستون دوریک قرار گرفته که ویریداریوم مرکزی (باغ زینتی) را احاطه کرده و پیش از آن دهلیز مجهز به حوضچه مرکزی (impluvium) با سقف محصور برای انتقال آب باران قرار دارد. Atrium (اتاق میانی خانه‌های رومی قدیمی)، دهلیز ورودی را از ردیف ستون‌های اطراف ایوان (پریستیل) جدا می‌کند، بنابراین توالی پلان متریک متعارف پیشنهاد شده توسط Vitruvius برای عمارت extra-urban را باطل می‌کند ۵، ۶، ۳ [۵۹]. در طرف پریستلیوم روبروی ورودی، تعدادی اتاق وجود دارد که زندگی خانگی در آنها انجام می‌شده است: کولینا (آشپزخانه)، cubiculum (اتاق خواب) با "طاقچه" دوتایی (فضای دو تخته)، دو عدد تریکلینیا و دو contiguous oeci (شکل ۲ (b)). به غیر از آشپزخانه که دارای زمین کوبیده شده است، تمام اتاق‌ها دارای کف موزاییکی خوش ساخت هستند [۶۰-۵۷].

روش اتخاذ شده برای بازسازی 3D با اولین مطالعه موردی متفاوت بود. این کار بر اساس آزمایش محیط مادی ثبت شده در حین کاوش و به ویژه کشف همزمان قطعات قابل توجهی از لامپهای سفالی روغنی، متمرکز در منطقه اختصاص داده شده به اتاق خواب و تریکلینیا انجام شده است. برنامه‌های نرم افزاری مدل سازی جامد (3dStudioMax, GeomagicWrap and Dialux) برای ایجاد مدل سه بعدی تاریخی-تفسیری استفاده شد. در بازسازی مجازی، طرح 2D باستان شناسی [۶۱] موجود در بایگانی تاریخی Taranto و مطالعات بقایای سنگ فرش، که در داخل قلعه Mola di Bari حفظ شده است، استفاده شد. علاوه بر این، بررسی سایت باستان شناسی با استفاده از تکنیک فتوگرامتری دیجیتال انجام شد، زیرا، در Cala Paduano، برخی از قسمت های قابل مشاهده از سنگ تراشی روکار وجود دارد (حدود ۲۰-۲۵ سانتی متر از سطح پیاده‌رو). بنابراین، چون موقعیت صحیح ویلا در متن بود، امکان بازسازی محل وجود داشت، مدل سه بعدی ویلا همانطور که در نمای هوایی نشان داده شده است، در داخل مدل سه بعدی سایت قرار داده شده است (شکل ۱۰ (a)). سپس، جستجوی متنی و موارد چاپی برای یافتن ویلا رومی مشابه [۱۷، ۵۸-۵۶] انجام شد. بازسازی بخش pars urbana ویلا با توجه به بازتولید کف رومی با کاشی های موزاییکی (کاشی معرق) با اشکال و رنگ های مختلف به گونه ای تنظیم شده است که تزئینات گیاهی و هندسی متنوع را تشکیل می دهد. این مطالعات بر روی نور طبیعی، مصنوعی و ترکیبی برخی از اتاقهای ویلا، به ویژه "تریکلینیوم ۱" و اتاق خواب متمرکز بود. بعداً، طرح کف حضور و موقعیت دو تخت (که در امتداد دو دیوار مرتب شده اند) و یک قطعه مبلمان را که در گوشه بین دو تخت قرار گرفته است، برجسته می کند.

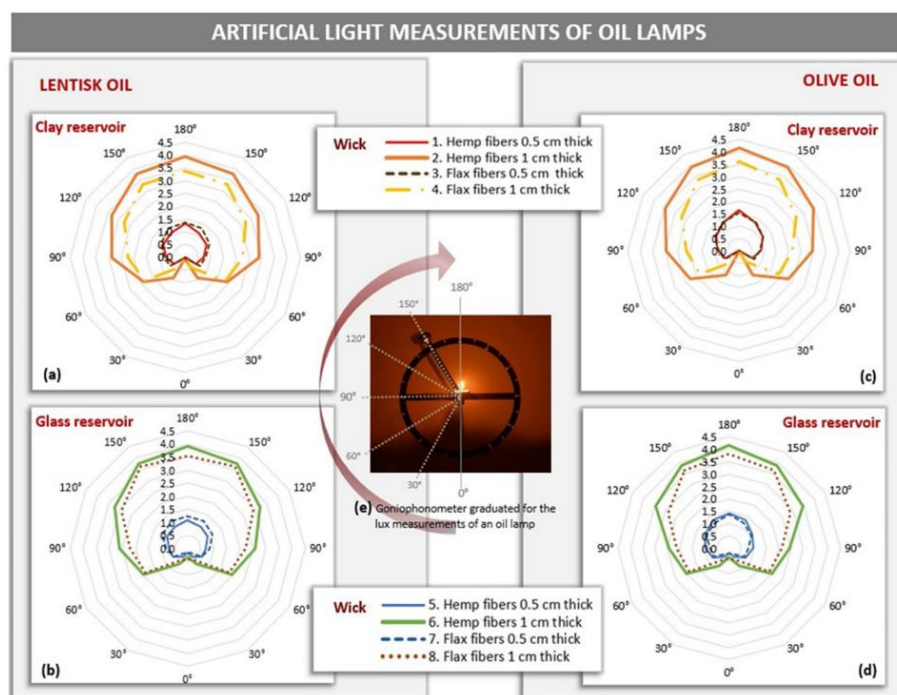
برای بازسازی سناریوهای روشنایی، داشتن فایل IES، که توزیع شدت نور در فضا را برای هر چراغ روشن بازتولید می کند، ضروری است. این فایل را می توان بوسیله ی منحنی های فتومتریک که نمایش بصری از نور منتشر شده از چراغ های روشنایی است، تهیه کرد. هر منحنی با اندازه گیری شدت نور از زوایای مختلف در امتداد خطوطی که در یک طرح از مرکز تابش می کنند، بدست می آید (به عنوان مثال طرح نمای جلو) [۶۲، ۶۳]. فایل های IES، با انجام یک سری آزمایشات آزمایشگاهی بر روی برخی از ابزار و وسایل روشنایی که دارای منبع سوخت پایه روغن بودند، با توجه به موارد استفاده شده در دوره روم و قرون وسطی، برای دو مطالعه موردی تهیه شدند.



شکل ۲، (a): پلان و بخشهایی از مدل سه بعدی کلیسای روپستری سانتا باربارا (b): بازسازی معماری ویلا رومی

بنابراین، یک گونیوفوتومتر تک کاره موقت، تولید شد، که اجازه می‌دهد تا سطح روشنایی را در فاصله معینی از منبع نور ($r = 250$ میلی متر) و برای زوایای مختلف با استفاده از بازوی چرخان با سر آشکارساز (لوکس متر) اندازه گیری کرد، در حالی که نور حاصل از شعله ثابت است (شکل ۳ (e)). تمام اندازه گیری‌ها در یک محیط کاملاً تاریک انجام شده است. بنابراین، دستیابی به یک سری مقادیر و ارزش‌ها در لوکس که به شمع (cd) تبدیل شده بودند، برای دستیابی به توزیع شدت روشنایی با معادله روبرو امکان پذیر بود: $Lux = cd/r^2$. در واقع، مطابق قانون مربع معکوس نور و روابط بین پارامترهای نوری، میزان روشنایی (Lux) در یک نقطه از صفحه عمود بر خطی که به این نقطه با منبع می‌پیوندد برابر است با شدت (cd) منتشر شده توسط منبع در جهت نقطه تقسیم برعکس مربع فاصله (r) بین نقطه و منبع.

این اندازه گیری ها امکان تهیه منحنی های فوتومتریک را برای آزمایش های مختلف فراهم می کند، که تفاوت نور مصنوعی را در استفاده از انواع مختلف مخزن (خاک رس ، شیشه)، سوخت (روغن زیتون، روغن لنیستسک)، مواد فتیله (کنف ، پارچه بافته شده) و اندازه فتیله (۰,۵ سانتی متر و ضخامت ۱ سانتی متر و ارتفاع ۱ سانتی متر) در هر لامپ مشخص می کند (شکل ۳).



شکل ۳: مقایسه اندازه گیری های نور مصنوعی (در شمع ها) با استفاده از روغن ، فتیله و مواد مختلف در هر لامپ

همانطور که منحنی های فوتومتریک مختلف به دست آمده نشان می دهد، شدت نور حاصل از روغن زیتون و روغن لنتیسک اختلاف زیادی ندارند، حتی اگر به طور کلی، مورد اول دارای مقادیر و ارزش کمی بیشتری از حداکثر اختلاف ۱,۱ لوکس باشد. از طرف دیگر، مقادیر اندازه گیری شده به ضخامت فتیله بسیار حساس هستند. در حقیقت، به عنوان مثال، در لامپ های سفالی که از روغن زیتون استفاده می شود، حداکثر اختلاف شدت روشنایی بین استفاده از فتیله به ضخامت ۰,۵ سانتی متر و ضخامت ۱ سانتی متر به ترتیب برابر با ۲,۶ کاندلا (یکای شدت نور) و ۲,۱ کاندلا برای کنف بافته شده و برای پارچه کتان است. هنگام استفاده از روغن لنیستیک به عنوان منبع سوخت، اختلاف شدت روشنایی، برای همان ترکیبات فتیله بالا، عملاً بدون تغییر است، یعنی برابر با ۲,۶ و ۲ کاندلا است (شکل ۳ (a) و (c)).

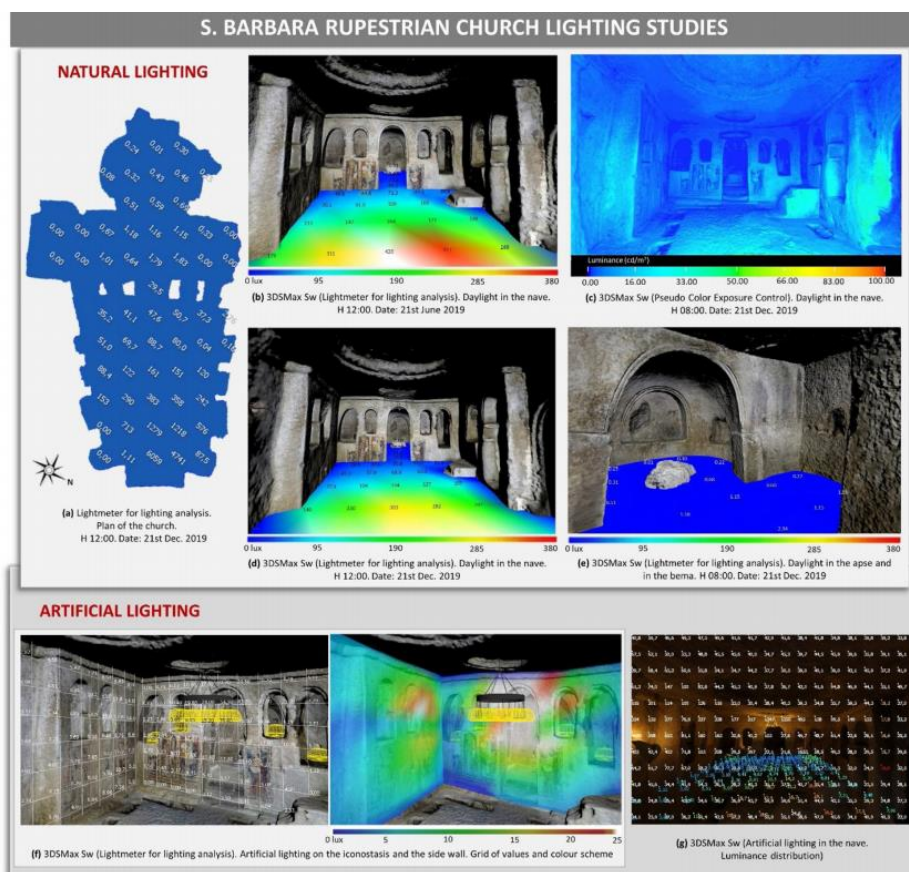
آزمایش‌های انجام شده با مخزن شیشه‌ای تفاوت‌های مشابهی را در استفاده از فیلدهای متفاوت (از نظر نوع و ضخامت) نشان دادند، اما بیشترین درصد شدت نور (بعلاوه ۵۰ کاندلا) به دلیل اثر شفافیت رو به پایین و کمتر بود (شکل ۳ (b) و (d)). سپس، از این مقادیر برای تولید فایل‌های IES توسط نرم افزار Real IES استفاده شد. به لطف این فایل‌ها، در شبیه سازی های 3DSmax و Dialux، امکان ایجاد مجدد روشنایی شعله برای لامپ‌ها و لوسترها در مدل‌های سه بعدی (3D models) مطالعات موردی وجود داشت.

ابزار سناریوی روشنایی

با استفاده از فایل‌های IES، مدل‌های سه بعدی و شبیه سازی سیستم‌های روشنایی مانند مشعل و پیه سوز و با توجه به فرضیه‌های تفسیری مورخان، تهیه سناریوهای روشنایی در شرایط نوری مختلف (طبیعی و / یا مصنوعی) امکان پذیر بود. علاوه بر این، مشخصات مواد مناسب برای آنالیز نور (بازتاب، رنگ، نوع پرداخت سطح و غیره) در مدل‌ها وارد شده بود.

برای کلیسای rupestrian سانتا باربارا، فقط از نرم افزار 3DStudioMax، از طریق عملکرد نورسنج برای بدست آوردن سطح روشنایی در سطوح از پیش تعیین شده (افقی و عمودی) و نمایش آن بر اساس پالت طیف رنگ، استفاده شد. یکی دیگر از عملکردهای استفاده شده، کنترل نوردهی شبه رنگ بود که به آن اجازه می‌دهد تا درخشندگی صحنه و منظره را نشان دهد، که توسط یک تصویر در شبه رنگ (آبی، فیروزه ای، سبز، زرد، نارنجی و قرمز) نشان داده می‌شود، و متناسب با میزان روشنایی است که در نقطه دوربین مجازی برمی‌گردد. سناریوهای روشنایی از طریق سیستم نور خورشید و نور روز، شبیه سازی شرایط نور طبیعی شدید در طول سال (کوتهایترین روزها در زمستان و بلندترین روزها تابستان) و برای ساعتهای قابل قبول مورد استفاده در طول روز، ایجاد شده است. اثر واقع بینانه توسط اپلیکیشن 3D rendering mental ray، که به عنوان یک افزونه برای نرم افزار 3DstudioMax است، در دسترس قرار گرفت.

در مورد ویلای رومی، سناریوهای مختلف در شرایط نوری طبیعی و مصنوعی، در فصول و زمانهای مختلف روز، با تغییر رنگ دیوارهای اتاق، مورد آنالیز قرار گرفتند. در این مطالعه موردی، سناریوهای روشنایی از طریق نرم افزاری که صرفاً به تجزیه و تحلیل روشنایی اختصاص داده شده است (نرم افزار Dialux) آنالیز شد، که امکان مدیریت رضایت بخش مدل‌های 3D فاقد هندسه پیچیده و دارای سطوح صاف را در مقایسه با مصنوعات و آثار نامنظم مانند مورد کلیسای غاری، فراهم می‌کند.



شکل ۴: تجزیه و تحلیل نور طبیعی و مصنوعی در کلیسای rupestrian سانتا باربارا.

استفاده از Dialux امکان محاسبه سطح روشنایی برای نور طبیعی و مصنوعی را در سطوح (کف، دیوار یا سقف) یا در طرح‌های قرار داده شده به وسیله‌ی کاربر در داخل اتاق، فراهم می‌کند. علاوه بر این، روشنایی و پارامترهای نور (زاویه انتشار) را می‌توان تغییر داده و ارزیابی کرد. در سناریوهای روشنایی ارائه شده برای ویلای رومی، سطوح روشنایی با رنگهای کاذب و در شبکه عددی در "طرح محاسبه" نشان داده شد.

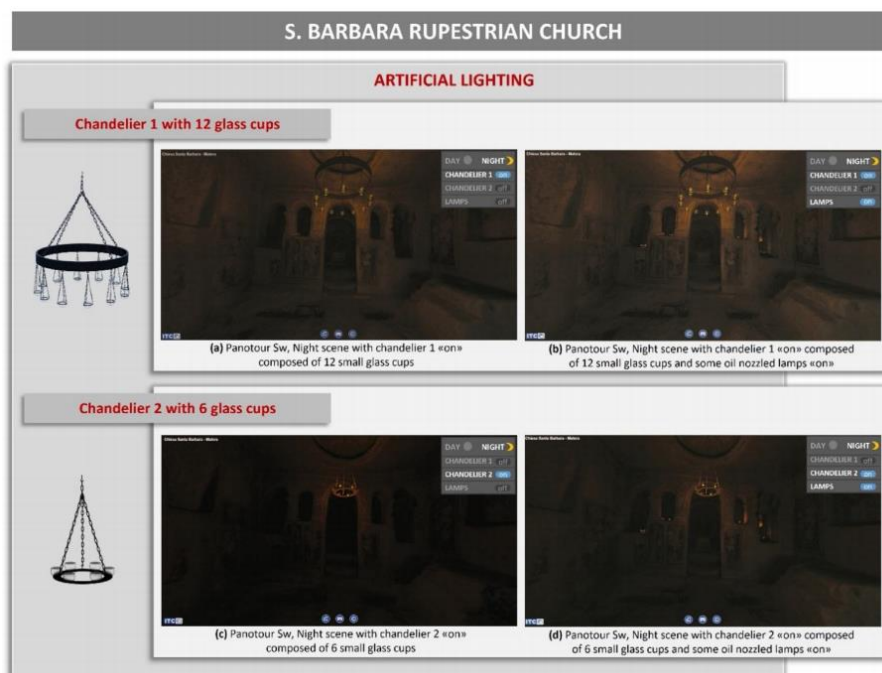
الگوریتم‌های مورد استفاده توسط Dialux برای سناریوهای روشنایی (برای تجزیه و تحلیل سهم نور طبیعی و مصنوعی)، نورپردازی غیر مستقیم محیط را در نظر می‌گیرند. نورپردازی غیر مستقیم شامل "روشنایی مستقیم" با اولین انعکاس روی سطوح (الگوریتم‌های مرتبه اول) و "روشنایی غیرمستقیم" که بازتابهای متعددی را که بین سطوح رخ می‌دهد را ارزیابی می‌کند (الگوریتم‌های مرتبه دوم)، است. نورپردازی غیر مستقیم بر اساس الگوریتم "ردیابی اشعه" است که با محاسبه سابق "پرتوی" همپوشانی دارد. اولی تعامل و اثر متقابل بین نور و اجسام را در نظر می‌گیرد، دومی که از قانون لمبرت پیروی می‌کند (ادعا می‌کند که همه سطوح منتشر کننده ایده آل هستند، یعنی نور را در هر جهت به یک اندازه منعکس می‌کنند) آثار بازتاب گسترده را در نظر می‌گیرد [۶۵].

نتایج و بحث

از طریق این سناریوها، آنالیز روشنایی روز در فصول و روزهای مختلف و همچنین بررسی فرضیه‌های تفسیری در مورد محل، نوع ابزار و وسایل روشنایی استفاده شده (لوستر یا لامپ‌های روغن) و کارایی و عملکرد نورانی آنها، امکان پذیر بود.

تحلیل و آنالیز نور در کلیسای صخره ای سانتا باربارا

در مورد کلیسای صخره ای سانتا باربارا، آنالیز نور روز، نور کم و ضعیف را به دلیل وجود تنها یک در ورودی در جلو و عمق کلیسا نشان می دهد (۱۲,۵۰ متر). در حقیقت، همانطور که در صفحه نورسنج قرار گرفته در ارتفاع ۱ متری، در ظهر و در فاصله ۲,۵ متری از ورودی نشان داده شده است، سطح روشنایی در محدوده ۴۲۰ لوکس در بلندترین روز تابستان و ۳۶۰ لوکس در کوتاهترین روز زمستان می باشد (شکل ۴). از آنجایی که شدت نور تابعی از فاصله از منبع نور است، در ساعت ۱۲:۰۰ صبح، میزان نور روز به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. مقدار کمتر از ۴۰ لوکس در انتهای شبستان (در ۶ متر از ورودی) و مقدار ۰,۳۰-۷,۸۰ لوکس در نما و بین ۰,۷۰-۰,۱۰ لوکس در apse در طول سال اندازه گیری شده است.



شکل ۵: سناریوهای تعاملی روشنایی مصنوعی با لوسترهای مختلف و چراغ های روغنی در کلیسای سانتا باربارا ([LINK http://www.itc.cnr.it/ba/vt/matera/chiesa_santa_barbara/](http://www.itc.cnr.it/ba/vt/matera/chiesa_santa_barbara/)).

بنابراین، تغییر نور طبیعی در طول روز بر میزان روشنایی در apse و بما که بسیار تاریک هستند، تأثیر نمی گذارد (شکل ۴ (e)). این امر همچنین به عنوان مثال، با توزیع روشنایی رنگ کاذب در ساعت ۸:۰۰ صبح در کوتاهترین روز زمستان (شکل ۴ (c)) نشان داده شده است، که مقادیر بین ۰ تا ۱۰ cd / m^2 را در فضای خارج از آیکوناستاز (دیوار دارای نمادها و نقاشی های مذهبی در کلیسا که شبستان را از محراب جدا میکند) نشان می دهد. علاوه بر این، نور در شبستان یکنواخت نیست. بنابراین، این نتایج ضرورت وجود سیستم روشنایی مصنوعی را برای روشن کردن کلیسای صخره ای نشان می دهد. در قرون وسطی، چراغ روغنی یکی از وسایل پرکاربرد برای این منظور بود که از یک نازل با مخزن متوسط برای مایع تشکیل شده بود. علاوه بر این، یک لوستر در ۱ متری آیکوناستاز وجود داشت. این موقعیت هم با تفسیرهای تاریخی از علائم معماری موجود در سایت و هم با ملاحظات عملی مربوط به نورپردازی تعریف شده است. یک مدل سه بعدی لوستر با ۱۲ ظرف شیشه ای براساس مستندات تاریخی برای کلیسای Cristo alla Selva در ماترا بازسازی شد، لوستر این کلیسا مشابه polykandela (لوستر فلزی با دیسک فلزی مخصوص برای محل چراغ شیشه ای)، در یافته های کاپادوکیا (ترکیه) و صومعه ای Athos (یونان) بود [۵۰]. علاوه بر لوستر در مدل 3DS Max، لامپ ها در طاقچه های تراشیده شده در دیوارها و در ورودی های قوسی شکل آیکوناستاز قرار داده شده اند. برای هر لامپ و هر فنجان لوستر فایلی با پسوند IES وجود داشت. هر پرونده خصوصیات فوتومتریک شعله ایجاد شده از فیلته ی بافته شده از کف و با روغن لینستیک را در ظرف سفالی (شکل ۳ (a)) یا در ظرف (فنجان) شیشه ای (شکل ۳ (b)) را برای لوستر بازتولید می کند. دمای رنگ مورد استفاده $(\pm 50) 1850K$ است [۷]، که به معنای استفاده از رنگ بسیار گرم است. این فایل IES توزیع نوری را براساس ویژگی های فوتومتریک (شکل ۳) حاصل از طریق نرم افزار اختصاصی و پشتیبانی از مطالعات مشابه تولید می کند. در حالی که لامپ ها فقط مناطق مجاور را روشن می کنند و پس زمینه را کاملاً تاریک می کنند، لوستر باعث افزایش روشنایی (شکل ۴ (g))، و متوسط روشنایی استوانه ای (Ez) شکل ۴ (f)) می شود و در نتیجه باعث درک بصری از نقاشی های روی آیکوناستاز و دیوارهای جانبی می شود. در واقع، در کلیسای قرون وسطایی، نور باید بر روی شمایل مقدسین به ویژه در چهره آنها متمرکز شود، و نورپردازی زمین و کف از اهمیت کمتری برخوردار بود. با توجه به کوچک بودن کلیسا، و یک لوستر ۶ فنجانی، که در یک محیط کوچک قرون وسطایی قرار دارد، باعث شد فرضیه ای برای مطالعه سناریوهای روشنایی نسبی ارائه گردد.

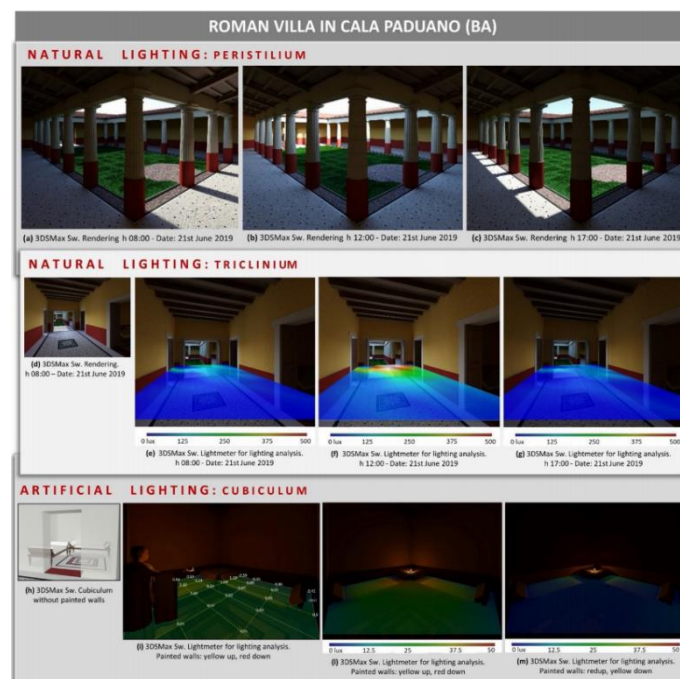
آزمایش های بصری مرتبط با این سناریوها از طریق واقعیت مجازی فوتورئالیستی تعاملی، با درج برخی دکمه های قابل کلیک برای فعال سازی سناریوهای مختلف روشنایی (نور طبیعی، شب، لوستر ۱۲ یا ۶ فنجانی، لامپ ها و ترکیب) و جهت یابی در مدل سه بعدی، باز تولید شد (شکل ۵). سطح نوری که می توان با سیستم

های شعله به دست آورد بسیار پایین تر از استانداردهای فعلی مکان های اجتماعات عمومی بود [۶۴] اما نور ارزش سمبلیک قدرتمندی به خود گرفت و فضای بصری خاصی ایجاد کرد.

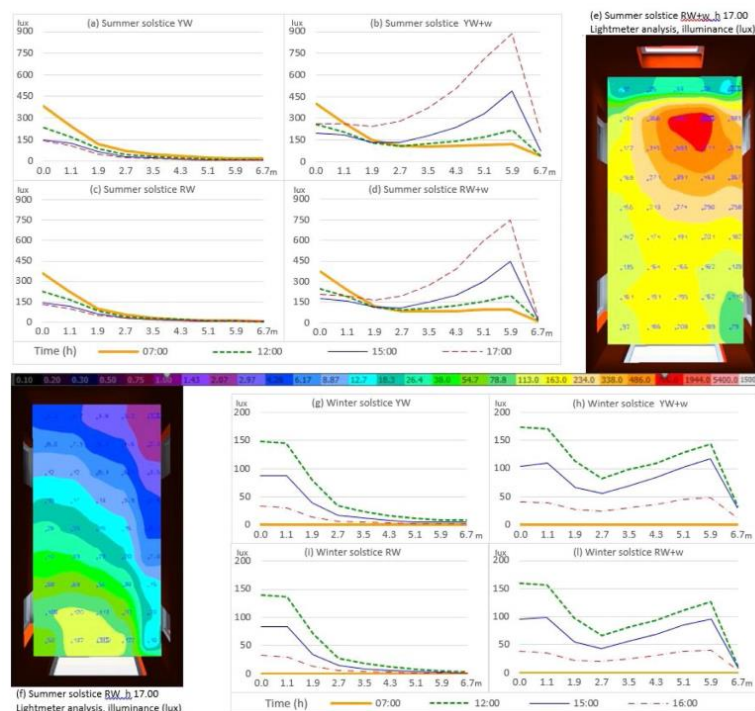
آنالیز نور در ویلای رومی

در مورد ویلای رومی در منطقه Paduano، نتایج حاصل از سناریوهای فوتورالیستی (شکل ۶) و آنالیز روشنایی (شکل ۷، ۸) برای تأیید تفسیر بقایای باستان شناسی و مشخص کردن ورودی اتاق‌ها به طرف بیرون و پرستیل (ردیف ستون های اطراف ایوان یا حیاط) بسیار ضروری بود. به طور خاص، وجود یک آستانه سنگی شامل دو سوراخ برای قرار دادن مناسب لولا و نیاز به تأمین سطوح روشنایی مورد نیاز برای غذا خوردن، باعث تفسیر این علائم به عنوان بخشی از درب چهار برگ عریض ۲٫۵ متری شد (شکل ۶ (d)، (e)، (f)، (g)).

بر اساس یافته‌های باستان شناسی (بقایای گچی عمدتاً به رنگ‌های قرمز، زرد و همچنین به رنگ‌های سیاه، سفید، سبز و غیره نیز رنگ آمیزی شده اند) و از مطالعات تاریخی چنین استنباط می‌شود که این ویلا متعلق به سبک II برای تزئینات است (مراجعه شود به "خانه گریفین‌ها در Palatine Hill"، "خانه عروسی نقره ای" Pompeii - "خانه اوبلیو فیرو" Pompeii) [۶۶، ۶۷]. تصمیم گرفته شد دو سناریو به نام YW و RW ایجاد شود: در حالت اول قسمت پایین دیوارها قرمز و قسمت فوقانی زرد (YW) است، در حالی که در حالت دوم رنگ دیوارها معکوس (RW) هستند. از این رو، امکان تجزیه و تحلیل دو سناریو مختلف از نظر بازتاب و جذب نور وجود داشت، که مطمئناً دیوارهای ویلا بین آن دو قرار می‌گرفت.



شکل ۶: تفسیر و آنالیز نور طبیعی و مصنوعی در ویلای رومی.

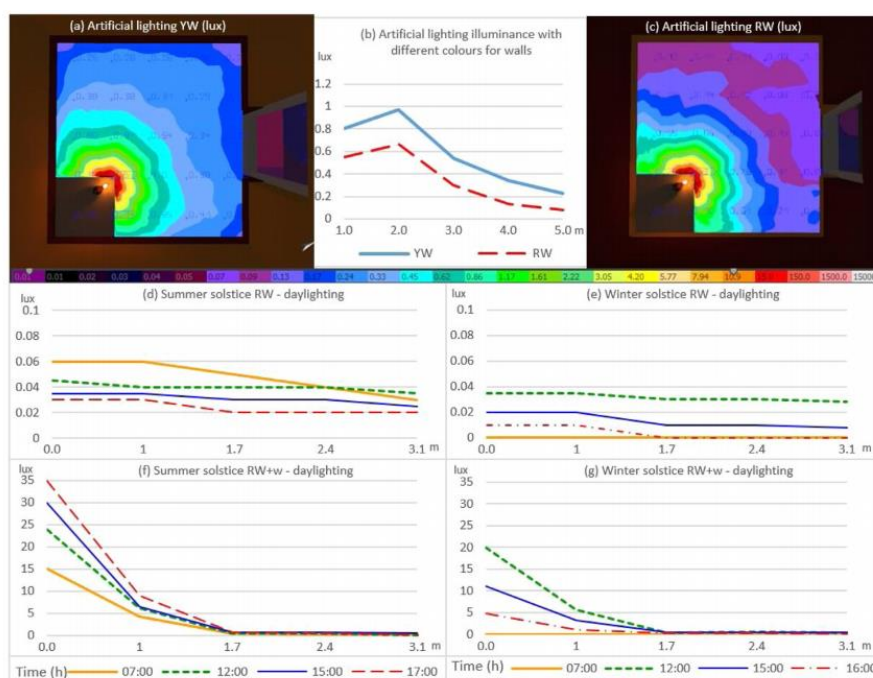


شکل ۷: آنالیز روشنایی در محاسبه "برنامه ها و " نمودار روشنایی روز (لوکس) در مقابل فاصله از ورودی در "triclinium 1" (در ارتفاع ۱,۰۰ متر) برای سناریوهای مختلف در رنگ دیوار (YW, RW) و در حضور یک پنجره اضافی در زمان طولانی ترین و کوتاهترین روزها (YW+ w, RW+ w).

برای یکی از فرضیه ها (YW)، علاوه بر آنالیز علمی روشنایی، با استفاده از sw اختصاصی، در فضای مجازی در اتاق خواب یک avatar قرار داده شده است و اتاق های ویلا را با لامپ روغنی سفالی روشن می کند که آزمایشات و تجارب احساسی و عاطفی مربوط به روشنایی با شعله را برای ما ارائه می دهد (شکل ۶ (I)). تعلق ویلا به سبک II و مطالعات روشنایی در 3Dmax (شکل ۶) و Dialux (شکل ۷، ۸)، این فرضیه را ممکن ساخت که در یکی از نقاشی های مربعی شکل موجود در triclinium به جای یک منظره تزئین شده (به عنوان مثال یک trompe l'oeil) یک پنجره واقعی به سمت چشم انداز ساحل دریا باز شده است. این پنجره می تواند باعث یکنواختی بیشتر نور طبیعی در triclinium شود. این نیز قابل قبول است زیرا ما با یک خانه یا یک "ویلا شهری" که عموماً توسط فضای خارجی شهری محصور شده است روبرو نیستیم [۶۵]، اما ما یک ویلا maritima داریم که باید پنجره هایی به بیرون داشته باشد [۶۸، ۶۹]. بنابراین، این فرضیه با استفاده از شبیه سازی های Dialux برای بررسی های روشنایی در ساعات مختلف روز و در طولانی ترین و کوتاهترین روزها، تأیید شد (شکل ۷). این مطالعه تمرکز ویژه ای بر زمان ناهار دارد که در دوره رومی بسته به فصول بین ۱۵:۰۰ و ۱۷:۰۰ - ۱۶:۰۰ انجام می شده است. با توجه به سناریوها بدون باز شدن یک پنجره دیگر، در "triclinium" 1 نتایج به دست آمده در امتداد محور مرکزی در ارتفاع ۱ متر (طرح ویژه تصویری) نشان می دهد که، در

بلندترین روز تابستان سطح روشنایی برای YW در ساعت ۱۵:۰۰ از ۱۵۱ لوکس تا ۸,۹ لوکس متغیر است (شکل ۷ (a))، و از ۱۴۵ لوکس تا ۳,۶ لوکس برای RW (شکل ۷ (c))، در حالی که در کوتاهترین روز زمستان مقادیر از ۸۷ لوکس تا ۴,۷ لوکس برای YW (شکل ۷ (g)) و از ۸۳ تا ۱,۶ لوکس برای RW متغیر است (شکل ۷ (i)). بعلاوه، سطح روشنایی طبیعی ضعیف در ساعت ۱۵:۰۰ برای ۲/۳ اتاق پایین ۳۳ لوکس در تابستان و زیر ۱۷ لوکس در زمستان برای YW است. به هر ترتیب، در ساعت ۱۶:۰۰ در کوتاهترین روز زمستان، مقادیر حتی از ۱,۹ (YW) و ۰,۷۲ (RW) کمتر است. مطالعات بعدی دارای مقادیر بسیار کمتری است و دارای حداقل آستانه lx ۰,۳۱۶ برای دید فوتوپیک (امکان تشخیص رنگ‌ها را در فاصله ۵۰ سانتی متر یا کمتر می‌دهد اما برای نمونه‌ای با اندازه حداقل ۵ سانتی متر مربع) است [۷,۷۴,۷۵].

برعکس، با باز شدن یک پنجره اضافی (+w) در مقابل درب ورودی از قسمت پرستیل، سطح روشنایی در امتداد محور مرکزی "triclinium 1" در $h = 1$ متر در ساعت ۱۵:۰۰ در بلندترین روز تابستان برای YW + w همیشه بالاتر از ۱۳۶ لوکس و برای RW + w برابر ۱۱۰ لوکس است، همچنین در فاصله ۶ متر از ورودی، به ترتیب برابر حداکثر ۴۸۸ لوکس و ۴۴۵ لوکس است. در ساعت ۱۷:۰۰ در بلندترین روز تابستان، مقادیر حداکثر ۸۸۷ لوکس و حداقل ۱۹۹ لوکس برای YW + w و حداکثر ۷۵۱ تا حداقل ۱۹۴ لوکس برای RW + w تا فاصله ۶ متری است. در طول کوتاهترین روز زمستان در ساعت ۱۵:۰۰، ۸۰٪ مقادیر بین ۱۱۸ لوکس و ۷۰ لوکس برای YW + w و بین ۹۸ لوکس و ۵۵ لوکس برای RW + w است. از ساعت ۱۶:۰۰ روشنایی یکنواخت تری بدست می‌آید: برای سناریوی YW + w با مقدار میانگین ۳۴ لوکس و مقادیر بالاتر از ۳۰ لوکس برای ۷۰٪ ناحیه "triclinium 1" و برای سناریوی RW + w با مقدار میانگین ۲۸ لوکس و مقادیر بالاتر از ۳۰ لوکس برای ۶۰٪ منطقه "triclinium 1" بدست می‌آید. مقادیر بدست آمده از باز شدن پنجره باعث می‌شود تا غذا خوردن در تابستان با راحتی بصری و دیداری انجام بگیرد، که طبق استانداردهای فعلی به ۲۰۰ لوکس برای رستوران سلف سرویس نیاز است [۶۰]. علاوه بر این، وجود پنجره در کوتاهترین روز زمستان اجازه می‌دهد تا مقادیر بالاتر از ۳۰ لوکس برای بیشتر مناطق "triclinium 1" حتی در ساعت ۱۶:۰۰ در دسترس باشد. رسیدن به ۳۰ لوکس سطح قابل قبولی از روشنایی را در زمان روم نشان دهد. بنابراین، فرض بر این است که طبق اصول Vitruvio این فضاها طوری طراحی شده‌اند [۵۵] که این فعالیت‌ها می‌توانند بدون یا با کمترین کمک نور مصنوعی انجام بگیرند و بنابراین، باز شدن پنجره توسط مطالعات روشنایی تأیید می‌شود. شرایط برای اتاق خواب که در آن فعالیت‌های خواب و لباس پوشیدن انجام می‌گیرد، چون به نور زیاد نیاز ندارند، متفاوت است. در واقع، طبق یافته‌ها و مطالعات تاریخی، این اتاق‌ها بدون پنجره بودند تا از اتلاف گرما جلوگیری کنند و دارای دری برای دسترسی و ورود نور طبیعی از طریق "triclinium 1" بودند.



شکل ۸: آنالیز روشنایی در محاسبه "برنامه ها و "نمودار روشنایی مصنوعی (لوکس) در مقابل فاصله از ورودی در اتاق خواب (در ارتفاع ۰,۷۵ متر) برای سناریوهای RW و RW + w در زمان طولانی ترین و کوتاهترین روزها.

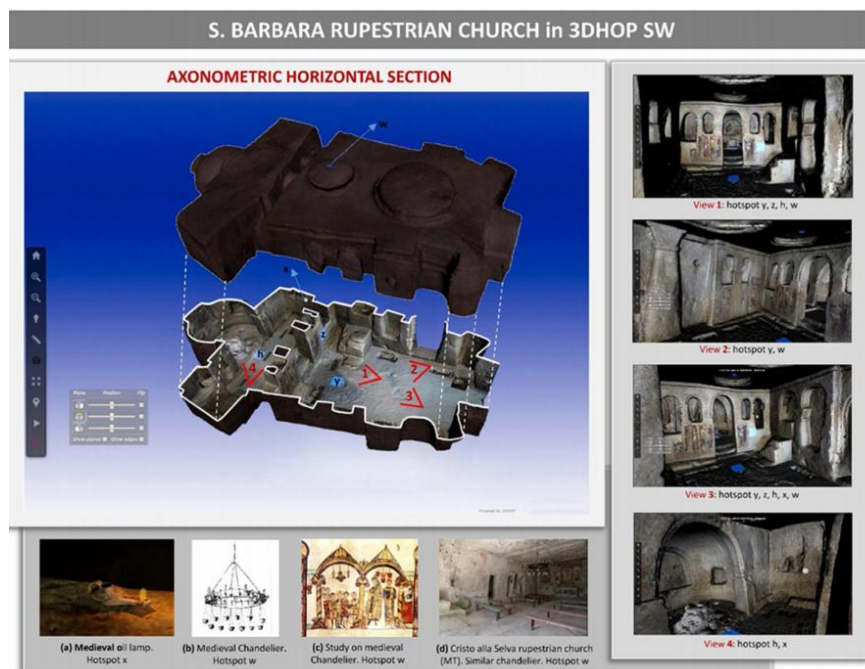
آنالیز دقیق سطح روشنایی در دسترس اتاق خواب در دو ترکیب رنگ برای دیوارها، قسمت پایین به رنگ قرمز و قسمت فوقانی به رنگ زرد (YW) و بالعکس (RW) در شرایط نوری طبیعی و مصنوعی از طریق استفاده از لامپ‌های سفالی انجام شد. این وسایل قابل حمل هستند و بنابراین احتمالاً توسط کاربر حمل می‌شدند یا بین دو تخت قرار می‌گرفتند. برای اختصار، فقط نمودارهای نور طبیعی در RW و RW + w با پنجره در "triclinium 1" نشان داده شده است، که سطح ضعیف روشنایی را در طول بلندترین روز تابستان بین ۰,۰۶ تا ۰,۰۲ در RW و بین ۳۵ تا ۰,۱۵ لوکس در RW + w نشان می‌دهد (شکل ۸ (d) و (f)). از این رو با توجه به اینکه از اتاق خواب به ویژه در ساعات تاریکی استفاده می‌شود، باید استفاده از نور مصنوعی رایج باشد. با استفاده از یک لامپ سفالی با یک فتیله کنفی با ضخامت ۱ سانتی متر و روغن زیتون به عنوان سوخت، سطح روشنایی بدست آمده در امتداد محور اتاق در ارتفاع ۰,۷۵ متر دارای مقادیر ۰,۹۷ تا ۰,۲۳ لوکس برای YW و مقادیر ۰,۶۶ تا ۰,۰۸ لوکس برای RW است. (شکل ۸ (a)، (b) و (c)). نتایج نشان می‌دهد که میزان روشنایی با یک لامپ می‌تواند دارای حداقل آستانه کمتر از ۰,۳۱۶ lx برای دید فتوپیک (با درک رنگ) باشد و بنابراین یک دید مزوپیک وجود دارد که یک معبر به سمت دید اسکوپوتیک (بدون درک رنگ) است. بنابراین، برای لباس پوشیدن، باید چراغ روغن سفالی را در کنار لباس با خطراتی استفاده کرد یا استفاده کردن از سایر موارد نیز لازم بود. به هر حال، لامپ‌های روغنی ادراک رنگی کاملاً متفاوتی از موزاییک‌های کف و محیط اطراف در مقایسه با چیزی که ما در دوران معاصر عادت کرده‌ایم، ایجاد می‌کنند. این جلوه بصری را می‌توان در واقعیت مجازی فوتورئالیستی بازسازی کرد (شکل ۶ (i)، (l) و (m)).

سرانجام، بازسازی‌های سه بعدی کلیسای صخره ای سانتا باربارا برای مشاهده از راه دور و استفاده از طریق الحاق نقاط تعاملی با محتوای تاریخی و همچنین بازسازی سیستم های نورپردازی مصنوعی با آنالیزهای علمی، به 3Dhop آورده شد (شکل ۹).

حتی مدل سه بعدی ویلا رومی از طریق برنامه Sketchfab با بافتهای بسیار واقع گرایانه بصورت آنلاین قابل مشاهده شد (شکل ۱۰).

نتیجه گیری

ماهیت چند رشته ای تحقیق، از جمله بازسازی سه بعدی مجازی از وسایل سیستم‌های روشنایی با شعله، منجر به ادغام مطالعات تاریخی و نتایج علمی، برای بررسی فرضیه شد. به این ترتیب می توان با استفاده از مدل سازی سه بعدی و بازسازی خصوصیات فیزیکی سیستم‌های روشنایی باستان، علاقه، دانش و باروری سایت‌های باستان شناسی یا بناهای تاریخی را برای مطالعه سطح روشنایی در زندگی روزمره گذشته و همچنین افزایش ادراک احساسی و بصری برای کاربردهای آینده، افزایش داد. علاوه بر این، آزمایش انجام شده نشان می‌دهد که چگونه داده‌های به دست آمده می تواند در مطالعات موردی مختلف به کار برده شود. در حقیقت، پرونده IES، که به صورت آزمایشی بدست آمده است، با مشخصات فوتومتریک شعله حاصل از روغن زیتون یا لینستیک مرتبط است و بنابراین می تواند برای وسایل و دستگاه‌های مختلف (مات یا شفاف) استفاده شود.



شکل ۹: لینک آنلاین مدل کلیسای S. Barbara.

<http://www.itc.cnr.it/ba/3D/matera/chiesa-rupestre-santa-barbara.html>.



شکل ۱۰: تجسم آنالین مدل ویلا رومی - (الف) نمای هوایی ، (ب) Peristilium ، (ج) Atrium with impluvium ، (د) 'Triclinium 1'

LINK: <https://skfb.ly/6QX9A>

با این حال، مدل سه بعدی لامپ باید با توجه به مستندات تاریخی خاص ایجاد شود. در عوض، انجام آزمایش-های جدید در صورت اثبات تغییرات اساسی، ضروری است، به عنوان مثال استفاده از سوخت‌های مختلف، مانند چربی‌های حیوانی به جای روغن زیتون و لینستیک، یا ابزار و وسایل روشن کننده، مانند مشعل‌ها و آتش‌ها به جای لامپ‌ها، یا فتیله‌ها انجام می‌گیرد. به هر حال، تحقیقات تاریخی و باستان شناختی اساسی و بنیادی هستند، با اینکه همیشه آسان نیستند، زیرا صحت کاربرد روش به در دسترس بودن و قابل اطمینان بودن اسناد و یافته‌ها بستگی دارد. علاوه بر این، اگر ابزار و وسایل کامل نباشد و سناریوهای روشنایی بتواند محدودیت‌های مربوط به امکانات نرم افزار را نشان دهد، مدل سازی سه بعدی می تواند پیچیده تر باشد. یکی دیگر از مزایای مهم استفاده از این روش، به لطف شبیه سازی جلوه های نوری به روشی علمی، امکان بازآفرینی سناریوها در محیط های فیزیکی واقعی است. این امر می تواند با استفاده از روشنایی LED که اثر شعله را شبیه سازی می کند و باعث احیای جو گذشته و ایجاد تجربیات احساسی در بازدید کنندگان می شود، انجام بگیرد. ایجاد سناریوهای روشنایی تاریخی توسط نورافکن های LED موقت، که قادر به کاهش شدت نور در صورت نیاز هستند، شرایطی ایجاد می کند تا معیارهای ایمنی اجباری برای بازدید کنندگان (به عنوان مثال دسترسی) و شرایط حفاظت برای ساختمان های میراثی (به عنوان مثال جلوگیری از شعله و دود)، رعایت شود. علاوه بر این، تجسم آنالین بازسازی های تاریخی در واقعیت مجازی تعاملی (به عنوان مثال روشن خاموش کردن لامپ ها و لوسترها، کلیک بر روی نقاط اطلاعاتی و غیره)، به لطف ICT می تواند ابزاری تبلیغاتی برای دعوت کاربران به بازدید از این آثار باشد و در عین حال، می تواند محتوای قابل اعتماد و ارزش های

ناملموس سیستم‌های روشنایی با شعله را به مخاطبان زیادی گسترش دهید. اجرای بیشتر این تحقیق می‌تواند باعث ارتباط واقعیت مجازی با دنیای بازی‌ها شده و افراد جوان را مشتاق آشنایی با محتوای تاریخی و احساسی نماید.

منابع

- [1] D. Moullou, F.V. Topalis, Artificial lighting in antiquity, in: I. Motsianos, E. Bintsi (Eds.), *Light on Light: An Illuminating Story. Exhibition Catalogue* (Thessaloniki, Folklife & Ethnological Museum of Macedonia-Thace, 31 October 2011-11 June 2012), Thessaloniki, 2011, pp. 44–77.
- [2] C. Pavolini, Archeologia dell'illuminazione, in: R. Francovich, D. Manacorda (Eds.), *dizionario di archeologia: temi, concetti, metodi*, Laterza, Roma-Bari, 2000, pp. 168–172.
- [3] L. Chrzanovski, *De Prométhée à la Fée Electricité. Pour une sociologie de l'éclairage à travers les âges, les croyances et les continents*, Academia Română Centrul de Studii Transilvane, Cluj-Napoca, 2013.
- [4] C. Papadopoulos, H. Moyes, *The Oxford Handbook of Light in Archaeology*, Oxford, 2017, <https://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780198788218.001.0001/oxfordhb/9780198788218> (Accessed on 28th April 2020). DOI:10.1093/oxfordhb/9780198788218.001.0001.
- [5] C. Pavolini, Le lucerne romane fra il III sec. a.C. e il III sec. d.C., in: P. Lévêque, J.-P. Morel (Eds.), *Céramiques hellénistiques et romaines. II. Annales Littéraires de l'Université de Besançon*, 331-Centre de Recherches d'Histoire Ancienne. 70, Paris, 1987, pp. 138–165.
- [6] L. Chrzanovski, *Lumière! L'éclairage dans l'Antiquité. Une exposition itinérante conçue par le Musée de Nyon-Suisse*, Edizioni ET, Milano, 2006.
- [7] D. Moullou, F.V. Topalis, Reconstructing Artificial Light in Ancient Greece, in: C. Papadopoulos, H. Moyes (Eds.), *The Oxford Handbook of Light in Archaeology*, Oxford, 2017, <http://dx.doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198788218.013.33>.
- [8] The 'International Lychnological Association' website: www.lychnology.org (Accessed on 28th April 2020).
- [9] D. Moullou, L.T. Doulos, F.V. Topalis, Artificial light sources in Roman, Byzantine, and Post-Byzantine eras: an evaluation of their performance, *Chronos Revue d'Histoire de l'Université de Balamand* 32 (2015) 119–135, <http://dx.doi.org/10.31377/chr.v32i0.115>.
- [10] W.T. O'Dea, Artificial Lighting Prior to 1800 and its Social Effects, *Folklore* 62 (2) (1951) 312–324, <http://dx.doi.org/10.1080/0015587X.1951.9718040>.
- [11] J.M. Miller, *Die Beleuchtung im Altertum. Die Beleuchtung bei den Römern. Programm der Königlichen Studien-Anstalt Aschaffenburg*, Stuttgart, 1886.
- [12] H. Eckardt, *Illuminating Roman Britain. Monographies Instrumentum* 16, Montagnac, Editions Monique Mergoil, Montagnac, 2002.
- [13] Y. Seidel, *Kunstliches "Licht im individuellen, familiären und öffentlichen Lebensbereich*, Phoibos, Wien, 2009.
- [14] M.E. Micheli, A. Santucci, *Lumina, Atti del Convegno Internazionale di Studi* (Urbino, 5-7 giugno 2013), Edizioni ETS, 2015.
- [15] C. Weisbuch, Historical perspective on the physics of artificial lighting, *Comptes Rendus Physique* 19 (3) (2018) 89–112, <http://dx.doi.org/10.1016/j.crhy.2018.03.001>.
- [16] D.G. Griffiths, *The social and economic impact of artificial light at Pompeii*, PhD Dissertation, School of Archaeology and Ancient History University of Leicester, 2016.

- [17] D.G. Griffiths, Household Consumption of Artificial Light at Pompeii, in: C. Papadopoulos, H. Moyes, The Oxford Handbook of Light in Archaeology, Oxford, 2018, 2018, <http://dx.doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198788218.013.22>.
- [18] F. Frasca, D. Pellacchia, L'illuminazione nell'edilizia residenziale in età tardoantica. Dai dati materiali alla restituzione 3D, in: I. Baldini, C. Sgameni, Abitare nel Mediterraneo tardoantico. Atti del II Convegno Internazionale del Centro Interuniversitario di Studi sull'Edilizia abitativa tardoantica nel Mediterraneo (CISEM) (Bologna, 2-5 marzo 2016). Insulae Diomedae 35, Edipuglia, Bari, 2018. [19] E. Bintsi, Artificial lighting through the artefacts of the FEMM-Thessaloniki Collection, in: I. Moutsianos, E. Bintsi (Eds.), Light on Light: An Illuminating Story. Exhibition Catalogue (Thessaloniki, Folklife & Ethnological Museum of Macedonia-Thace, 31 October 2011-11 June 2012), Thessaloniki, 2011, pp. 311–325.
- [20] L. Bouras, M.G. Parani, Lighting in Early Byzantium, Dumbarton Oaks Byzantine Collection Publications, Washington, 2008.
- [21] G. Guidi, M. Russo, D. Angheluddu, Digital reconstruction of an archaeological site based on the integration of 3d data and historical sources, in: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W1, 2013, 3D-ARCH 2013 - 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25–26 February 2013, Trento, Italy. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W1-99-2013
- [22] F. Remondino, A. Rizzi, Reality-based 3d documentation of world heritage sites: methodologies, problems and examples, proceedings of the 22nd CIPA Symposium, October 11-15, 2009, Kyoto, Japan.
- [23] R. Quattrini, E. Baleani, Theoretical background and historical analysis for 3D reconstruction model. Villa Thiene at Cicogna, J. Cult. Herit. 16 (1) (2015) 119–125, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2014.01.009>.
- [24] R. Quattrini, R. Pierdicca, E. Frontoni, R. Barcaglioni, Virtual reconstruction of lost architectures: from the TLS survey to AR visualization, in: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B5, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic. DOI: 10.5194/isprsarchives-XLI-B5-383-2016.
- [25] D. Scagliarini Corlàita, A. Coralini, A. Guidazzoli, T. Salmon Cinotti, G. Raffa, L. Roffia, C. Taboni, M. Malavasi, F. Sforza, E. Vecchietti, Archeologia virtuale e supporti informatici nella ricostruzione di una domus di Pompei, Archeologia e Calcolatori 14 (2003) 237–274.
- [26] V. Barrile, G.A. Bilotta, E. D'amore, R. Marando, G.M. Meduri, S. Trovato, Structural Analysis of Cultural Heritage assisted by 3D Photogrammetry, in: Advances in Environmental and Geological Science and Engineering - Proceedings of the 8th International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering (EG' 15) Salerno, Italy, June 27-29, 2015.
- [27] M. Russo, G. Guidi, The role of digital models in cultural heritage preservation, IX International Forum Le Vie dei Mercanti–S.A.V.E. Heritage, Safeguard of Architectural, Visual, Environmental Heritage Aversa, Capri, 2011.
- [28] F. Chiabrando, E. Costamagna, A. Spanò, La correlazione di immagini per la generazione di modelli 3D per il patrimonio costruito - Passive optical sensors and related image-matching methods for 3D modelling, In: TERRITORIO ITALIA, 2013, pp. 53–67.
- [29] M. Russo, F. Remondino, G. Guidi, Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico, Archeologia e Calcolatori 22, Edizioni All'Insegna del Giglio, 2011, pp. 169–198.
- [30] M. Daneshmand, A. Helmi, E. Avots, F. Noroozi, F. Alisinanoglu, H.S. Arslan, J. Gorbova, R.E. Haamer, C. Ozcinar, G. Anbarjafari, 3D Scanning: A Comprehensive Survey, arXiv:1801.08863v1 [cs.CV] 24 Jan, 2018.

- [31] F. Carvajal-Ramírez, A.D. Navarro-Ortega, F. Agüera-Vega, P. MartínezCarricondo, F. Mancini, Virtual reconstruction of damaged archaeological sites based on Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry and 3D modelling. Study case of a southeastern Iberia production area in the Bronze Age, *Measurement* 136 (2019) 225–236, <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.092>.
- [32] N. Yastikli, Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning, *J. Cult. Herit.* 8 (4) (2007) 423–427, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2007.06.003>
- [33] Y. Alshawabkeh, N. Haala, Integration of digital photogrammetry and laser scanning for heritage documentation, in: the international archives of photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 35 (B5) (2006) 424–429.
- [34] F. Remondino, Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning, *Remote Sens. (Basel)* 3 (6) (2011) 1104–1138.
- [35] W. Moussa, Integration of Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for Cultural Heritage Data Recording, January 2014, Thesis for: Doctoral, Advisor: Dieter Fritsch, München, 2014.
- [36] T. Luhmann, M. Chizhova, D. Gorkovchuk, H. Hastedt, N. Chachava, N. Lekveishvili, Combination of Terrestrial Laserscanning, UAV and Closerange Photogrammetry for 3d Reconstruction of Complex Churches in Georgia, in: the International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W11, 2019, pp. 753–761, <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-753-2019>.
- [37] C. Balocco, E. Frangioni, Natural lighting in the Hall of Two Hundred. A proposal for exhibition of its ancient tapestries, *J. Cult. Herit.* 11 (1) (2010) 113–118, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2009.02.005>.
- [38] C. Balocco, D. Paganini, E. Marmonti, Assessment of the Luminous Climate Inside Historical Buildings. Experimental Measurements and Lighting Simulation of the Hall of Five Hundred in Florence, 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2016, <http://dx.doi.org/10.1109/EEEIC.2016.7555804>.
- [39] J.M. Almodovar-Melendo, J.M. Cabeza-Lainez, I. Rodriguez-Cunill, Lighting features in historical buildings: scientific analysis of the church of saint louis of the frenchman in Sevilla, *Sustainability* 10 (9) (2018) 3352, <http://dx.doi.org/10.3390/su10093352>.
- [40] J. Happa, M. Mudge, K. Debattista, A. Artusi, A. Gonc, alves, A. Chalmers, Illuminating the past: state of the art, *Virtual Real.* 14 (2010) 155–182, <http://dx.doi.org/10.1007/s10055-010-0154-x>.
- [41] D.Moullou, Lighting Night-timeActivities inAntiquity,in:M.E.Micheli EA. Santucci, Lumina, Atti Del Convegno Internazionale Di Studi (Urbino, 5-7 Giugno 2013), Edizioni ETS, 2015, pp. 199–212. [42] M. Parente, E. Lupo, C. Sedini, Tangibile/Intangibile. Dialoghi sul Design per i Territori. 2, Politecnico di Milano, Milano, 2017.
- [43] M. Potenziani, M. Callieri, M. Dellepiane, M. Corsini, F. Ponchio, R. Scopigno, 3DHOP: 3D heritage online presenter, *Comput. Graph.* 52 (2015) 129–141.
- [44] R. Villani, Età Aragonese-Pittura tardogotica in Basilicata-La cripta di Santa Barbara a Matera in Pittura murale in Basilicata dal tardo antico al rinascimento, Consiglio regionale della Basilicata, <http://www.old.consiglio.basilicata.it/conoscerebasilicata/cultura/pittura/pittura.asp>, pp. 103-114 (Accessed on 12th February 2020).
- [45] Comune di Matera, Piano Strutturale Comunale-Repertorio degli areali. Scheda VI369, Santa Barbara, http://www.comune.matera.it/images/Piano_strutturale_comunale/CRS2/Valore_storico_culturale/CRS2_REPERTORIO_VALORE_STORICO-CULTURALI_ALL.pdf (Accessed on 13th March 2020). [46] B. Bruno, Archeologia medievale nei Sassi di Matera, in Scavi medievali in Italia 1996-1999, HERDER, Roma, 2001, pp. 137–148.

- [47] N. Milella, M. Zonno, S. Capotorto, Il sistema fotogrammetrico 3DEYE per il rilievo 3D in quota: il Bastione di Sant'Antonio in Bari, in: G. Verdiani (Ed.), Proceedings of the International Conference on modern age fortifications of the Mediterranean cost, Fortmed 2016, Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries. IV, DIDAPRESS, Firenze, 2016.
- [48] Rivista Archeomatica, Sistema fotogrammetrico 3DEYE 2.0: nuova configurazione e nuove soluzioni per i beni culturali e archeologici, in: <https://www.archeomatica.it/documentazione/sistema-fotogrammetrico3deye-2-0-nuova-configurazione-e-nuove-soluzioni-per-i-beni-culturali-e-archeologici> (Accessed on 25th March 2020).
- [49] A. Santucci, P. Lassandro, M. Zonno, La tomba N.83 di Demetria a Cirene in prospettiva 3D: valutare la luce in uno spazio funerario, in: *Libya Antiqua*, New Series 12, 2019, pp. 105–126.
- [50] F. Dell'Aquila, Antiche lampade, <http://www.pugliaindifesa.org/files/Lampade.pdf> (Accessed on 18th December 2019).
- [51] B.Y. Olcay, Lighting methods in the Byzantine period and findings of glass lamps in Anatolia, *J. Glass Stud.* 43 (2001) 77–87.
- [52] M. Acara, B.Y. Olcay, Bizans Döneminde Aydınlatma Düzeni ve Demre Aziz Nikolaos Kilisesi'nde Kullanılan Aydınlatma Gereklilikleri, in: *Adalya II, Suna & Inan Kirac*, 1998, pp. 263.
- [53] <http://www.treccani.it/enciclopedia/lentisco/> (Accessed on 14th February 2020).
- [54] <http://agricura.it/lentisk-oil/> (Accessed on 28th April 2020).
- [55] C. Loi, Preliminary studies about the productive chain of lentisk oil through ethnographic witness, in: *Ethnoarchaeology: Current Research and Field Methods*, Conference Proceedings, Rome, Italy, 13th–14th May, 2010.
- [56] A. Ciancio, Mola Paduano, Una villa marittima nei circuiti commerciali del Mediterraneo, in: Ead. (ed.), *La Peucezia in età romana*, Progedit, Bari, 2002, pp. 15–25.
- [57] A. Mangiatordi, Insediamenti rurali e strutture agrarie nella Puglia centrale in età romana, *Edipuglia*, Bari, 2011, pp. 268–271, 431–432.
- [58] A. Marzano, G.P.R. Métraux, *The Roman Villa in the Mediterranean Basin: Late Republic to Late Antiquity*, Cambridge University Press, 2018.
- [59] M. Vitruvio Pollione, *De Architectura Libri X*, traduzione e note di L. Migotto, Edizioni Studio Tesi, Pordenone-Padova, 1997.
- [60] A. Ciancio, Documenti di arte musiva in Puglia, I mosaici della villa di Mola di Bari, in: *Mélanges de l'École française de Rome-Antiquité* 106 (1) (1994) 259–302.
- [61] A. Ciancio, *La Peucezia in età romana*, Progedit, Bari, 2002.
- [62] J. Happa, M. Mudge, K. DeBattista, A. Artusi, A. Gonçalves, A. Chalmers, Illuminating the past: state of the art, *Virtual Real.* 14 (3) (2010) 155–182, <http://dx.doi.org/10.1007/s10055-010-0154-x>.
- [63] P. Ricciardi, *Acoustics and Lighting Technology Elements*, McGraw-Hill, Milano, 2009.
- [64] European Standard, EN 12464-1:2011, Light and lighting—Lighting of work place. Part 1-Indoor work places, 1 June 2011.
- [65] F. Bisegna, F. Gugliermetti, M. Barbalace, L. Monti, Confronto Tra Software Illuminotecnici, Report RdS/2010/237, Dip. Fisica Tecnica, Università Di Roma Sapienza, 2010, <https://www.enea.it/it/Ricerca-sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/illuminazionepubblica/5-uniroma1-confronto-software.pdf> (Accessed on 25th August 2020).
- [66] http://www.treccani.it/enciclopedia/stili-pompeiani_%28Enciclopedia%27-Arte-Antica%29/ (Accessed on 24th February 2020).

- [67] F.G. Andersen, *Intorno alle origini del secondo stile*, *Analecta Romana Instituti Danici* 8 (1977) 71–78.
- [68] M.S. Busana, *L'edilizia abitativa nel mondo classico*, Carocci, Roma, 2018.
- [69] L. Esposito, *Le Ville Marittime Romane in Penisola Sorrentina, Capri e Litorale Flegreo, Con-fine*, Monghidoro, 2017.
- [70] P. Carrettero, *Sabores de Roma*, *Actas del I Simposio Internacional sobre Gastronomía Antigua Romana*, Archaeopress, Oxford, 2015.
- [71] G. Cuscito, *L'alimentazione nell'antichità*, *Atti della XLVI settimana di Studi Aquileiesi (Aquileia 2015)*, in: *Antichità Altoadraitiche* 84 (2016).
- [72] A. Dosi, F. Schnell, *Pasti e vasellame da tavola—Le abitudini alimentari dei Romani—I Romani in cucina*, Edizioni Quasar, Roma, 1986.
- [73] P. Faas, *Around the Roman Table: Food and Feasting in Ancient Rome*, University of Chicago Press, 2005.
- [74] J. Pokorny, M. Lutze, D. Cao, A.J. Zele, The color of night: surface color perception under dim illuminations, *Vis. Neurosci.* 23 (3-4) (2006) 525–530, <http://dx.doi.org/10.1017/S0952523806233492>.
- [75] L. Chrzanovski, M. Martiniani-Reber, *À la tombée de la nuit. . . Art et histoire de l'éclairage*, Catalogue de l'exposition internationale (Genève 2012), 5 Continents Éditions, Milan-Genève, 2012.

تأثیر یون های سرب در خشک شدن روغن ها^۱

نویسندگان: چارلز توموسا؛ ماریون مکلن بورگ

برگردان: عمر قوی دل

دانشجوی کارشناسی مرمت آثار تاریخی دانشگاه هنر اسلامی تبریز

(ghavidelomar@gmail.com)

چکیده

ترکیبات سرب و رنگدانه ها باعث تغییر در خشک شدن می شوند، خواص و رفتار فیزیکی رنگهای روغنی و جلاها، هنرمندان و صنعتگران را قادر می سازد خصوصیات را که میخواهند، مطابق با اهدافی که دارند تنظیم کنند. تحقیقات در مورد مکانیسم این تغییرات اغلب متناقض یا گمراه کننده بوده است. رفتار مواد افزودنی سرب یا رنگدانه ها را می توان با استفاده از نظریه های مدرن خشک کن ها تفسیر یا طبقه بندی کرد.

مقدمه

مطالعه سیستماتیک خشک کردن روغن ها و رنگ ها با انتشار ۱۸۶۷ شیمی روغن های خشک کننده [۱] یک مونوگرافی است که دراصل توسط مولدر^۲ به زبان هلندی نوشته شده است. از میان موضوعات فعلی مطرح شده در این کتاب مولدر می پرسد که:

^۱ مقاله فوق ترجمه مقاله زیر است:

Charles S. Tumosa & Marion F. Mecklenburg (2005) The influence of lead ions on the drying of oils, *Studies in Conservation*, 50:sup1, 39-47

در دسترس به آدرس:

<http://dx.doi.org/10.1179/sic.2005.50.Supplement-1.39>

² G.J. Mulder

در آن خشک شدن انجماد [روغن] تشکیل شده است؟ آیا فقط در روغن نهفته است یا در مواد افزودنی نیز وجود دارد؟ بعد از خشک شدن چه اتفاقی رخ میدهد؟ ... من اعتقاد ندارم که کسی این موضوع را بداند، زیرا تا کنون هیچ کجا پاسخی برای این سوالات پیدا نکرده ام. یکی از صابون های سربی در رنگ های سربی صحبت می کند، اما آیا این صحت دارد؟ [۱، ص ۲].

واضح است که تأثیر خود روغن ها، مواد افزودنی «یا ناخالصی ها» درون آنها و واکنش رنگدانه ها با روغن ها سوالاتی بود که تا آن زمان به آنها پاسخ داده نشده بود. پس از مولدر، شیمیدانان ثابت کردند که یون های فلزی خاصی بر تشکیل فیلم^۳ روغن های خشک کننده تأثیر می گذارند. رفتار دقیق سرب در خشک شدن فیلم های رنگی، همچنان از طریق ورود سرب به روغن، با مقدار محلول در روغن و استفاده زیاد از آن به عنوان رنگدانه اصلی، کربنات سرب پایه، پنهان می شود.

سرب از زمان باستان یکی از مواد هنری هنرمندان بوده است که به صورت نیت مند یا غیر عمدی از آن استفاده کرده اند [۲] و در طول قرن بیستم، رفتار سفید سرب (کربنات اصلی سرب) در روغن ها از دیدگاه های مختلف هنرمندان و شیمی دانان توصیف شده است. در حالیکه هنرمندان از سنت و تازگی پیروی می کردند و با استفاده از مواد شیمیایی کمتر از مواد اولیه بسیار متغیر، به "شیمی" خود می رسیدند، شیمی دانان در تلاش بودند تا محصولات خود را برای فروش یکنواخت کنند. این اختلاف عقاید را اجتناب ناپذیر کرد.

از نگاه هنرمند، ولته^۴ می نویسد: به عنوان یک رنگدانه سرب، اثر کاتالیزوری شدیدی بر روی روغنهای قابل اکسیداسیون دارد ... بنابراین یک دستگاه خشک کن کاملاً مناسب است ... [۳، ص ۷۰-۷۱] گتنس و استاوت^۵ نظر یکسانی دارند [۴، ص ۱۷۵]. اما شیمیدانان تجاری یافته های دیگری نیز ارائه داده اند. به عنوان مثال سابین^۶ اظهار داشت که: سرب و روغن سفید در واقع سریعتر از روغن خشک می شوند، اما این افزایش بسیار کم است که در عمل تشخیص داده نمی شود [۵، ص ۱۲].

بنت^۷ درباره تأثیر خشک کن های سرب اظهار می دارد: "سرب به خودی خود یک تسریع کننده خشک کن قدرتمند نیست، حداقل برای سیستم های ساده روغن، و روند اکسیداسیون روغن را به میزان قابل توجهی تغییر نمی دهد" [۶، ص ۵۴]. نظرات هنرمندان و شیمی دانان باید با هم تطبیق داده شوند و برای حل مسئله

^۳ ورقه بسیار نازکی که روی روغن یا آبگونه تشکیل می شود.

^۴ Wehlte

^۵ Gettens and Stout

^۶ Sabin

^۷ Bennett

اطلاعات مفیدی در ادبیات وجود دارد. این مقاله به موارد تأثیر یون سرب در اکسیداسیون روغن ها و اثرات ترکیب رنگدانه سرب ، ناخالصی ها و حلالیت در رفتار خشک شدن بعدی روغن ها و رنگ های روغن می پردازد.

خشک کننده ها

به آن دسته از فلزاتی که زمان خشک شدن را کاهش می دهند (خشک تماسی یا چسبندگی آزاد) و فیلم های پلیمری بهتری داده می شود ، خشک کن نامیده می شود. استوارت^۸ تعریف جامعی از خشک کن ها ارائه می دهد و می گوید: "در اصطلاحات پوشش های فعلی ، خشک کن ماده ای است که باعث خشک شدن ، پخت یا سخت شدن وسایل نقلیه با پوشش اکسید شونده می شود یا تسریع می شود" [۷، ص ۲۱۱].

منگتی^۹ و دیگران، بیشتر خشک کن ها را به دو دسته تقسیم می کنیم: مواردی که بر اکسیداسیون روغن ها تأثیر می گذارند و آنهایی که بر روند پلیمریزاسیون تأثیر می گذارند [۸] ، و بر اساس تمایزات قبلی مورلی اسمیت^{۱۰} [۹] بین خشک کن های اکسیداتیو ، که می توانند خشک کن های سطحی باشند (کبالت ، منگنز ، وانادیوم) یا از طریق خشک کن (سرب). به آن خشک کن هایی که روی پلیمریزاسیون تأثیر می گذارند ، خشک کن ثانویه یا بعضاً کمکی گفته می شود و اغلب فلزاتی هستند که فقط یک حالت اکسیداسیون ممکن دارند (روی ، کلسیم ، پتاسیم ، لیتیوم ، سدیم) اگرچه هیچ چیزی مانع فلز چند ظرفیتی از این دسته نمی شود [۱۰].

به طور کلی توافق شده است که توانایی یک ترکیب فلزی در کاتالیز اکسیداسیون روغن و تشکیل یک فیلم بستگی به محلول بودن و تفکیک یون فلز در روغن دارد [۶، ۷، ۱۱-۱۳]. برای بدست آوردن غلظت کافی یونهای فلزی برای کاتالیز اکسیداسیون روغن ، یا باید یونهای فلزی را جداگانه اضافه کرد (محلول یا واکنش داد) یا یونهای فلزی باید در خود رنگدانه حل شوند. تفکیک در یونهای فلزی بسیار مهم است و ترکیبی مانند تترا تیل سرب که پیوند کووالانسی دارد و جدا نمی شود ، هیچ تأثیری در خشک شدن روغن ندارد [۶].

خشک کننده ها ممکن است به روش های مختلف رفتار خشک شدن روغن ها را تغییر دهند و ممکن است باعث افزایش جذب اکسیژن از طریق عمل کاتالیزوری شوند و یا ممکن است زمان شروع جذب اکسیژن (دوره القایی) را از طریق رسوب یا غیرفعال کردن آنتی اکسیدان ها کاهش دهند [۱۴، ۱۵]. از دهه ۱۹۵۰ ، مطالعات نشان داد که در بعضی موارد خشک کن های فلزی ممکن است کمپلکس هایی ایجاد کنند که باعث کاهش

⁸ Stewart

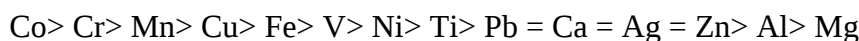
⁹ Meneghetti

¹⁰ Morley-Smith

انرژی فعال سازی برای جذب اکسیژن می شود [۱۴، ۱۶]، در حالی که کلسیم، روی و زیرکونیوم و همچنین فلزات انتقالی می توانند به عنوان کاتالیزورهای ثانویه یا کمکی عمل کنند. و تجزیه هیدروپراکسید ها را به رادیکال های آزاد ترویج می دهد [۱۷، ۱۸]. بعداً بلتیره و ماهونی اثبات کردند که خشک کن هایی که واکنش های اکسیژن را تحت تأثیر قرار می دهند چند ظرفیتی هستند و می توانند در دو (یا بیشتر) حالت اکسیداسیون وجود داشته باشند [۱۹]. سپس این بسیاری از فلزات را به عنوان کاتالیزور اکسیداسیون مستقیم روغن ها حذف می کند اما از طبقه بندی آنها به عنوان خشک کن های کمکی یا ثانویه جلوگیری نمی کند. از آنجا که یک فلز می تواند در بیش از یک دسته واکنش عمل کند، ترکیبات سرب را می توان هم به عنوان خشک کن های اکسید کننده و هم به عنوان خشک کن های تحت تأثیر پلیمریزاسیون در نظر گرفت.

در یک سری آزمایشات خشک کردن با استفاده از رزین های سرب، منگنز، کبالت، آهن و مس محلول در روغن ها، که در شیمی صنعتی و مهندسی در سال ۱۹۲۴ منتشر شد [۲۰]، مشخص شد که سرب کمترین تأثیر را در خشک کردن روغن دانه کتان به یک ماده خشک دارد. ملاک خشک شدن تماسی معادل سرب بیشتر مورد نیاز بود. در واکنش های اکسیداسیون رادیکال های آزاد که باعث تشکیل فیلم می شوند، توانایی فلزات در افزایش سرعت تخریب هیدروپراکسید منجر به افزایش اتصال متقابل می شود. واکنش پذیری با اکسیژن پلیمرهای آلی حاوی نمک های فلزی اسیدهای چرب از نظم مشابه اکسیداسیون اتوماتیک روغن در فلز پیروی می کند.

این عمل باعث بوجود آمدن لیست تخریب ترمواکسیداتیو می شود، به عنوان مثال:



همانطور که اُسوا^{۱۱} اشاره می کند، به نظر می رسد این امر با توانایی فلزات در تجزیه هیدروپراکسیدهای تشکیل شده در اثر اکسیداسیون ارتباط خوبی دارد [۲۱].

در اواخر قرن نوزدهم شیمی فرآیند خشک کردن روغن ها به طور سیستماتیک مورد بررسی قرار گرفت و کارایی خشک کن ها مورد مطالعه قرار گرفت. سنتز ترکیباتی که به راحتی در روغن ها حل می شوند به مطالعه دستگاه های خشک کن کمک می کند. مقدار مشخصی از ترتیب در اثربخشی وجود دارد، به طور کلی به دلیل ترکیبات آزمایش شده و سیستم مدل تنظیم شده برای مطالعه [۲۰، ۲۲-۲۴]. نتیجه گیری کلی این است که ترتیب اثربخشی برای سه خشک کن متداول $\text{Co} > \text{Mn} > \text{Pb}$ است. استفاده از سرب به عنوان خشک کن در اواخر قرن نوزدهم با استفاده از کبالت و منگنز به عنوان خشک کن اصلی و با استفاده

¹¹ Oswa

مداوم از سرب فقط در ترکیب با سایر فلزات کنار گذاشته شد [۲۲، ۲۵]. به دلیل مشکلات رنگی، ملاحظات فیزیکی و تعامل موثر در بین فلزات مختلف، ترکیبات فلزات به روال معمول افزودن خشک ترها در قرن بیستم تبدیل شد [۱۹]. استفاده از کبالت به عنوان خشک کن اولیه منجر به نقش خشک کن کمکی شد [۸، ۲۶]. از آنجا که هر دو کبالت و منگنز سطح فیلم را به راحتی خشک می کنند اما سطح زیرین آن را نرم می کنند، خشک کن های سربی برای کمک به خشک شدن این سطح زیرین اضافه می شوند، در این فرآیند به خشک شدن کامل گفته می شود [۱۲].

توانایی سرب در کاتالیز جذب اکسیژن با استفاده از سیستم مدل متیل لینولات توسط آندرسون و نیلن^{۱۲} در دهه ۱۹۴۰ بررسی شد و نتایج در مقایسه با کبالت و منگنز [۲۷]. مشخص شد که دوره القایی این سه فلز با واکنش کبالت تقریباً بلافاصله متغیر است اما با شروع واکنش، سرعت واکنش (جذب اکسیژن در دقیقه) برای هر فلز یکسان است. همانطور که گزارش قبلی نشان داده بود، سرعت واکنش به میزان غلظت فلز بستگی دارد. توانایی سرب در کاتالیز کردن اکسیداسیون روغن دانه کتان کمتر از کبالت و منگنز بود. کوفی^{۱۳}، که در سال ۱۹۲۲ در مجله انجمن شیمی نوشت، نشان داد که اثر اصلی خشک کن های کبالت، منگنز و سرب کاهش دوره القایی است در حالی که سرعت واکنش اکسیداسیون اصلی را تحت تأثیر قرار نمی دهد [۲۸].

اواسط قرن بیستم، طبیعت سمی ترکیبات سرب علاقه به یافتن جایگزینی برای عملکرد آنها را هم به عنوان خشک کن و هم به عنوان رنگدانه برانگیخته است. محدودیت ایالات متحده برای خشک کن های سربی در دهه ۱۹۸۰ ۰,۰۶٪ بود و آنها تا ژوئیه ۱۹۸۷ در انگلیس کاملاً حذف شدند. [۲۹] دی اکسید تیتانیوم و اکسید روی، به طور کلی در ترکیب، جایگزین سفید سرب به عنوان یک رنگدانه و سایر فلزات مانند زیرکونیوم و کلسیم در فرمول های خشک تر، در درجه اول به عنوان خشک کن های کمکی جایگزین سرب می شوند [۳۰، ۲۶].

کارگران اولیه دامنه ای از ۱,۰ تا ۲,۰ فلز متال در هر وزن روغن را موثرترین غلظت سرب دانستند، اگرچه اثر آن در کاهش زمان خشک شدن تقریباً حدود ۰,۳ بود [۱۱، ۲۲، ۳۱، ۳۲]. غلظت های تجاری معمول برای خشک کن سرب به عنوان نمک محلول در محدوده ۰,۵٪ تا ۱,۰٪ فلز در هر وزن روغن است و اغلب در ترکیب با خشک کن های دیگر فلز است [۷]. غلظت خشک کن سرب معمولاً بسیار بیشتر از سایر خشک کنهای اضافه شده است.

حفظ حلالیت ترکیبات سرب پس از ورود به روغن نیز مسئله ای است. خشک کن های سرب محلول در روغن که با واکنش ترکیبات سرب با روغن دانه کتان ساخته می شوند (خشک کن های پخته شده نامیده می

¹² Andersson and Nylen

¹³ Coffey

شوند) می توانند با گذشت زمان رسوب کنند ، احتمالاً با اکسیداسیون آنیون های اسید چرب اشباع نشده یا واکنش با سایر اجزای روغن [۳۳]. سرب محلول در روغن اغلب رسوب می کند اگرچه سرب قابل توجهی ممکن است تا ۴۵٪ در روغن حل شود [۳۴ ، صص ۲۳-۷۵]. نمک های اسیدهای چرب کاملاً اشباع نیز در حالت ایستاده جدا می شوند ، اگرچه این مشکل سرانجام با استفاده از نمک های فلزی اسید نفتنیک (که در سال ۱۹۲۴ معرفی شد) ، اسید ۲ اتیل هگزانوئیک (اکتوات) و سایر اسیدها برطرف شد [۷ ، ۱۵ ، ۳۳ ، ۳۴ ، ص ۷۹].

ترکیبات سربی که مستقیماً وارد روغن خام می شوند نیز ممکن است هدف دیگری داشته باشند. در سال ۱۹۳۴ توسط ناوس^{۱۴} اشاره شد که این فلز برخی از آنتی اکسیدانهای موجود در روغن را رسوب می دهد و از این رو زمان القای مورد نیاز برای شروع اکسیداسیون روغن را کاهش می دهد [۱۵]. این قضیه که نمک های سرب باعث رسوب آنتی اکسیدانها می شوند ، با این ملاحظه روبرو می شوند که اختلاط لینولئات های روی ، کلسیم یا آلومینیوم در روغن خام دانه های بز باعث می شود روغن از رسوبات تشکیل نشود (یعنی ترکیبات خاصی از ترکیبات روغن) و در عین حال رفتار آن را حفظ می کند. [۳۵].

از دست دادن فعالیت خشک کن در حالت ایستاده ممکن است به دلیل جذب ماده خشک کننده روی رنگدانه باشد [۷ ، ۱۹ ، ۳۶] و می تواند در رنگ ذخیره شده برای مدت طولانی قابل توجه باشد.

ترکیبات سرب محلول در روغن های غیر خشک کننده نیز می توانند اکسیداسیون را تسریع کنند. خشک شدن روغن زیتون به تنهایی یا در ترکیب با روغن دانه کتان با استفاده از نمک های سرب و منگنز بررسی شده است [۳۷ ، ۳۸].

مقادیر کمی نمک های فلزی محلول (کمتر از ۰.۵٪) می تواند فتوپلیمر شدن روغن بذر کتان را در نور مستقیم خورشید در غیاب هوا کاتالیز کند. کبالت با تأثیرات بسیار کوچکتر اما قابل توجه ناشی از سرب ، روی و منگنز ، تا حد زیادی موثرترین فلز در انجام این کار است [۳۹]. با این حال رنگدانه سفید سرب رفتار متفاوتی دارد و نشان داده شده است که روغن دانه کتان را از اکسیداسیون تحت اشعه ماورا بنفش محافظت می کند [۴۰].

¹⁴ Knauss

روغنهای جوشانده

از "اولین روزهای" نقاشی رنگ روغن برای سرعت بخشیدن به خشک شدن روغن به سرب وارد شده است [۲]. از اوایل قرن نوزدهم، با این حال، بیشتر و بیشتر در مورد تأثیر فلزات بر رفتار خشک شدن روغن ها شناخته می شود و به طور فزاینده ای، از فلزات دیگر و ترکیبات فلزات استفاده می شود. رزینهای سرب و منگنز به صورت ترکیبی در اواخر قرن نوزدهم توصیف می شوند و خشک کن های کبالت در دهه اول قرن بیستم معرفی می شوند [۲، ۴۱].

افزودن خشک کن ها به روغن ها نیاز به ورود یون های فلزی به روغن دارد یا با افزودن نمک های فلزی به روغن فله داغ (یا بخشی از روغن) یا تهیه محلول های نمک فلز به طور جداگانه و سپس حل آنها در روغن [۴۲] در صورت افزودن مستقیم ترکیبات سرب به یک روغن، فرآیندهای تجاری از جوش، سرب قرمز یا استات اصلی سرب، گاهی اوقات به صورت ترکیبی و بیش از حد، برای جبران هرگونه ماده نامحلول تشکیل شده استفاده می کردند [۴۳، ص. ۱۶۱-۱۸۴؛ ۴۴، ص ۸-۱۶]. اگر اجازه داده شود در کف کتری بسوزد، مونو اکسید سرب می تواند باعث تغییر رنگ روغن شود در حالی که استات سرب می تواند رنگ پریده ای ایجاد کند زیرا به سرعت در محلول تجزیه می شود [۴۴، صص ۸-۹]. برای جلوگیری از تیره شدن روغن، معمولاً میزان لیتارژ به بیش از ۰/۱ درصد اضافه نمی شد [۴۵، ص. ۱۷۷] مکانیسم این افزودنی های نمکی به طور کلی شامل ابتدا هیدرولیز استرگلیسرول و سپس واکنش یون فلز با محصولات واکنش، اسیدهای چرب یا حتی گلیسرول آزاد شده است [۳۴، ص ۷۳-۷۵، ۴۶، ۴۷]. این فرض می کند که غلظت های اولیه اسیدهای چرب آزاد کم است. واکنش حتی در جو بی اثر نیز رخ می دهد. افزودن نمک های سرب به طور مستقیم به روغن معمولاً با حرارت دهی انجام می شود، یا در دماهای پایین با بخار، ۱۰۰ درجه سانتیگراد (۲۱۲ درجه فارنهایت) برای تشدید، یا در دماهای بالا، ۲۰۴-۲۶۰ درجه سانتیگراد (۴۰۰-۵۰۰ درجه فارنهایت) و برای لیتارژ و سرب قرمز [۴۴، ص ۱۰، ۴۶]. یکی دیگر از اثرات گرم کردن روغنهای عمده برای حل نمکهای سرب، پیش پلیمریزاسیون روغن، تولید یک پایه یا روغن دمیده است، و این بر روی زمان خشک شدن نیز تأثیر می گذارد. از آنجا که روغن بذر در محدوده ۲۳۰-۲۳۶ درجه سانتیگراد شروع به تجزیه می کند باید احتیاط کرد و در عمل درجه حرارت روغن جوشیده شده بین ۲۲۰ تا ۲۲۸ درجه سانتیگراد حداقل برای سه تا شش ساعت و اغلب طولانی تر نگه داشته می شود [۴۳، ص ۱۵۹-۱۶۰].

روغن های کم رنگ با ورود استات سرب تولید می شوند اما ممکن است لایه های آن حاوی اسید استیک یا استات باشند و نسبت به فیلم های ساخته شده با سایر نمک های سرب مانند لیتارژ، بورات سرب یا لینولات نرم تر باشند. به نظر می رسد روغنهای ساخته شده از رزینهای سرب با رسوب کمی صاف و سخت باشند [۴۴، ص ۱۶]. استفاده از استاتهای فلزی ممکن است اسید استیک باقیمانده باقی بماند، زیرا اسید آزاد شده

می تواند با ترکیبات اسید چرب فلز کمپلکس تشکیل دهد [۴۸، ص ۹۷-۹۸] اکسیدهای سرب همچنین می توانند با اجزای غیر لیپیدی واکنش داده و رسوبات ایجاد کنند [۴۳، ص ۱۵۷-۱۵۸].

اگر خشک کن در روغن محلول باشد یا قبلاً در بخش هایی از روغن یا سقز حل شود، ممکن است خشک کن ها در دمای اتاق یا نزدیک به آن (۴۰-۴۰ درجه سانتیگراد) اضافه شوند. این باعث محدود شدن نمک های سرب و منگنز در خشک کن ها به رزین یا اولئیت ها می شود [۴۳، ص ۱۸۰-۱۸۱].

هنگام تشکیل صابونهای سربی برای استفاده به عنوان خشک کن، محصولات واکنش مونو اکسید سرب یا سرب قرمز با بذر کتان ناپایدار هستند زیرا روغنهای سربی، لینولات و لینولات در معرض اکسیداسیون هوا هستند و حتی بیشتر در معرض تابش مستقیم آفتاب هستند [۴۸، ص ۱۹۷-۲۰۵] این صابونها ممکن است مستقیماً درجا با گرم شدن با روغن یا غیر مستقیم با تصفیه روغن هیدرولیز شده با نمکهای فلزی آب و به دنبال آن تصفیه با هیدروکسید سدیم و گرمایش جزئی (۱۱۶ درجه سانتیگراد) تهیه شوند [۵۰].

روشهای صنعتی برای تهیه دستگاههای خشک کن در روغن به طور مفصل در چندین منبع مناسب انگلیسی زبان ارائه شده است [۳۴، ۷۲-۸۲؛ ۴۳، ص ۱-۳۵؛ ۴۵]. علاوه بر این، فرمول های رنگ و لاک خشک کن از انگلستان قرن نوزدهم توسط کارلایل^{۱۵} [۵۲] مورد بررسی قرار گرفته اند در حالی که دستورالعمل های باستانی، قرون وسطایی و نوزایی بسیاری در مریفیلد موجود است [۵۳].

رنگ های سربی

وقتی رنگدانه های حاوی سرب به روغن ها اضافه می شوند، مهمترین رفتار کوتاه مدت واکنش نمکها با روغن است. به طور کلی توانایی رنگدانه در تشکیل نمکهای فلزی (صابون ها) با توجه به رفتار خشک کردن و خواص مکانیکی، به عنوان عامل اصلی در تعیین مناسب بودن رنگهای پایه سرب در نظر گرفته شده است.

واکنش رنگدانه ها به روغن ها به ترکیب شیمیایی آنها بستگی دارد و رفتار خشک شدن رنگ ها با ترکیب رنگدانه ها متفاوت است [۷]. از آنجا که رنگدانه ها با حرارت زیادی به روغن ها اضافه نمی شوند، واکنش رنگدانه ها با روغن باید کندتر از اثراتی باشد که در ساخت روغن های جوشانده دیده می شود.

¹⁵ Carlyle

کربنات‌های سرب

مهمترین رنگدانه سرب کربنات پایه یا سفید سرب است. مروری بر تاریخچه و کاربرد آن در نقاشی توسط کوهن و پالسیفر و دیگران [۵۴-۵۶] منتشر شده است و سفید سرب به طور کامل با سایر رنگدانه ها در جلد دوم پیگمنت های هنرمندان بررسی می شود. کتابچه راهنمای تاریخ و خصوصیات آنها [۵۷].

رفتار رنگهای سربی را می توان با تغییر در ترکیب رنگدانه ناشی از روش تهیه یا تقلبی ها توضیح داد. علاوه بر این ، یون های فلزی برای اینکه خشک کننده موثری باشند ، باید در روغن محلول باشند ، یعنی از رنگدانه در روغن حل شوند. توانایی انجام این کار نیز با ترکیب شیمیایی متفاوت است.

روش های تهیه: سفید سرب

دستورالعمل های متعددی برای تولید سفید سرب ، از دوران باستان تا قرن نوزدهم ، توسط مریفیلد^{۱۶} فهرست بندی شد و اولین بار در سال ۱۸۴۹ منتشر شد [۵۳]. طبق روشهای سنتی آماده سازی ، فلز سرب در معرض دودهای اسید استیک (سرکه) در حضور مواد آلی در حال پوسیدگی مانند کود دامی یا پوست برنزه مرطوب برای تأمین گرما و دی اکسید کربن قرار می گیرد. شیوه های تجاری مدرن (قرن نوزدهم و بیستم) برای تهیه سفید سرب کم و بیش از تغییرات این روش هاست و یا فرآیند هلندی یا Stack نامیده می شود [۵۸]. سفید سربی حاصل یک محصول مخلوط حاوی کربنات سرب پایه ، کربنات سرب خنثی ، احتمالاً مقداری اکسید سرب (لیتارژ) است و اگر محصول به طور نامناسب شسته شد ، استات اصلی سرب و فلز سرب ریز تقسیم شده نیز وجود دارد.

فرآیند هلندی باعث ایجاد ناخالصی های حاوی گوگرد نمی شود مگر اینکه مدت زیادی در جای خود باقی بماند و سپس سولفید سرب ممکن است محصول را تیره کند. گفته شد که ترکیب سربهای سفید تجاری در اواسط قرن هجدهم حاوی استاتهای اصلی ، دو پایه و خنثی است [۵۹]. مشخصات نیروی دریایی ایالات متحده بیان می کند که ناخالصی استات باید کمتر از ۰٫۱۵٪ باشد [۶۰] ، احتمالاً به این دلیل که استات سرب و آب همراه آن سرب کمتری از کربنات پایه دارند. نیاز به حذف سریع استات جهانی نبود و حتی تصور می شد که تا ۵ درصد استات اصلی سرب در سفید سرب مفید باشد [۶۱] ، ص ۲۴-۲۵.

در اوایل قرن بیستم فرآیندهای دیگر عمدتاً در تولید تجاری سفید سرب مهم شدند. رنگدانه های فرآیند سریع با تصفیه سرب مذاب با بخار ساخته شده و یک پودر خوب تولید می شود. پودر سرب در وانهایی که به آرامی در حال چرخش هستند قرار می گیرد و سپس دی اکسید کربن تولید شده از کک و اسید استیک معرفی می

¹⁶ Merrifield

شود. این فرآیند رنگدانه ای را ارائه می دهد که کاملاً قابل استفاده است اما غالباً حاوی ناخالصی های حاصل از گوگرد ناشی از اکسیداسیون کک است ، به عنوان مثال سولفات سرب ، سولفیت و سولفید. سرب فلزی نباید بیش از ۰/۱ درصد در محصول باشد ، گرچه در بعضی موارد ممکن است از ۱ درصد نیز عبور کند [۴۲]، ص 15-16, 35].

یکی دیگر از فرایندهای مهم ، فرایند محفظه کرمیتز است [۴۲]. این فرآیند شامل درمان خمیر لیتارژ و اسید استیک با دی اکسید کربن و بخار در دمای بالا است. مجدداً این محصول باید کاملاً شسته شود تا استات سرب از بین برود اما اغلب گفته می شود که این محصولات دارای کربنات سدیم یا استات نیز هستند [۴۲] ، ص ۲۱]. اگر مقدار دی اکسید کربن در فرآیند ناکافی باشد ، رنگدانه دارای بار غیر واکنشی خواهد بود [۴۲]. ولته^۴ این ماده را حقیر می داند زیرا حاوی استات سرب است که باید از آن جدا شود [۳] ، ص ۷۰-۷۱]. لیتارژ نسبت به کربنات واکنش سریع تری نشان می دهد و در تهیه نمک های اسید چرب سرب ترجیح داده می شود [۴۸] ، ص ۵۰-۵۱].

به نظر می رسد بین سفید سرب معمولی و سفید سرب کرمیتس تمایز وجود داشته است. مولدر اظهار داشت که رنگ سفید کرمیتس دارای مقدار کربنات بیشتری نسبت به سفید سربی معمول بود و در اصل رنگ سفیدتری داشت اما تا این حد باقی نمی ماند [۱] ، ص ۲۸۵-۲۸۷].

نیاز به فلز سرب بسیار خالص به عنوان ماده اولیه توسط چرچ [۶۳] از زمان ایجاد ناخالصی ها تأکید شده است. مس ، نیکل و آهن به عنوان ناخالصی های موجود در سرب توصیف شده است و این مواد حتی اگر در غلظت های کم حل شوند ، می توانند اکسیداسیون روغن را تسریع کنند [۵۹] ، ص ۱۲۷-۱۲۸].

فلز مس در تماس با روغن دانه به راحتی حل می شود و می تواند به غلظت های ۴,۱٪ از نظر وزنی در لایه های نازک خشک برسد ، اگرچه تا حدودی کمتر از ۵,۲٪ سرب محلول در آزمایش های مشابه [۶۴]. مس می تواند از طریق تماس ساده با مخازن ذخیره سازی یا واکنش به روغن وارد شود ؛ این ماده به ویژه در کاتالیز اکسیداسیون روغن ها کارآمد است و در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ ppm فعال است [۲۰] ، ص ۶۵-۶۷]. گفته می شود که آنتیموان بعنوان ناخالصی مسئول میزان بیش از حد لیتارژ موجود در برخی از سفیدهای سرب است [۴۲] ، ص ۳].

انحلال بیش از حد یک رنگدانه در یک فیلم رنگی برای تشکیل صابون های فلزی می تواند باعث خراب شدن سریع فیلم شود در حالی که مقدار کمی از فلز محلول در روغن می تواند به عنوان خشک کننده یا حتی یک ماده ضد خوردگی عمل کند [۶۸]. صابون های اسید چرب C18 که در اثر واکنش ترکیبات سرب با روغن بذر

ایجاد می شوند ، می توانند حتی در اثر تماس با آب و هوا ، اسیدهای کربوکسیلیک کوچکتری تولید کنند. نمکهای اسیدهای آزلائیک ، فرمیک ، استیک ، پروپیونیک ، بوتیریک ، اسیدهای فرعی ، پیملیک و آدیپیک جدا شده است [۶۹] جالب توجه است که آزلائیک اسید ، محصول واکنش دی اکسید C9 در تجزیه اسیدهای چرب روغن دانه کتان ، یک بازدارنده کارآمد در برابر خوردگی آهن است و به توضیح ماهیت ضد خوردگی رنگ سرب روی آهن کمک می کند [۷۰].

ترکیب شیمیایی

فرمول های شیمیایی کربنات سرب پایه در طول قرن گذشته دستخوش تغییرات شده است. داده های کریستالوگرافی برای کربنات ها ارزیابی شده و به نظر می رسد سه ترکیب اصلی ظهور کرده اند [۷۴-۷۱].

$PbCO_3$: کربنات طبیعی

$2PbCO_3.Pb(OH)_2$. $3PbCO_3.2Pb(OH)_2$: کربنات پایه

سایر ترکیبات با مقادیر مختلف کربنات یا هیدروکسید به عنوان مخلوط ناخالصی از سه ترکیب فوق در نظر گرفته شده اند و ممکن است حاوی بار ، PbO باشند [۴۵ ، ص 30 ؛ ۵۴،۵۵،۷۵].

سفید سرب اگر بین ۲۰ تا ۳۳ درصد هیدروکسید سرب داشته باشد ، رضایت بخش در نظر گرفته شده است [۶۰ ، ص ۱۱]. شواهدی وجود دارد که هیدروکسید سرب ساده ، $Pb(OH)_2$ ، به عنوان یک ترکیب پایدار وجود ندارد و به نظر می رسد یک ترکیب هیدراته از فرمول $(PbO) (0.4H_2O)$ معمولاً وجود داشته باشد [۷۶].

علاوه بر ترکیب شیمیایی مختلف کربناتها یا تقلبی بودن آنها با ناخالصی ، ترکیب شیمیایی سفید سرب ها ممکن است کاملاً متغیر باشد. ممکن است این اصطلاح به معنای دیگری باشد. به عنوان مثال ، فیلدینگ^{۱۷} در سال ۱۸۴۶ سفید سرب را چنین توصیف می کند ، "سرب سفید ؛ یک اکسید سرب ... با نام های مختلف Flake White، Nottingham White، sulfate of، سرب ، و غیره.... Flake White نوع برتر سرب سفید است. سایر "سفیدهای سرب" شامل سولفات سرب ، سولفات سرب پایه و اکسی کلرید سرب هستند [۴۲ ، ص ۲]. رنگدانه های سفید سربی تجاری قرن بیستم نیز ممکن است به عنوان بخشی از ترکیبات شیمیایی آنها حاوی لارگ باشد $PbCO_3.2Pb(OH)_2.PbO_4$ ، که یک رنگدانه ثبت اختراع تجاری است [۶۲،۷۵].

در برخی از رنگدانه ها که فرآیند خوردگی به درستی کنترل نشده است ، ممکن است میزان لیتارژ وجود داشته باشد. وجود لیتارژ به سفید سرب گچ زرد می دهد [۴۲ ، ص ۳۴].

¹⁷ Fielding

ماهیت نامطلوب مقادیر زیادی لیتارژ در تماس با روغن بذر در دهه ۱۸۵۰ توسط استاس^{۱۸}، که گزارش داد: ... مقادیر زیادی لیتارژ یک رنگدانه تمیزکننده ایجاد می کند، در ابتدا بسیار سخت است، اما در اثر تغییر دما و حتی خرد شدن، ممکن است ترک بخورد، همانطور که هنرمندان در روغن گاهی اوقات بر روی بوم خود که با سرب سفید تهیه شده و به آن اضافه شده است، توجه می کنند.

از منظر مکانیکی، رنگهای ساخته شده از کربنات سرب پایه و روغن بذر تحت فشار سرد به تنهایی لزوماً شکننده نمی شوند اما انعطاف پذیری خود را برای مدت زمان قابل توجهی حفظ می کنند [۷۸]. این مدتهاست که یک تجربه مشترک است [۷۹، ص. ۱۲۱] شکنندگی در اجزای سفید سربی نقاشی ها ممکن است نتیجه تمیز کردن یا استفاده از لاک باشد و کمی سازی این رفتار با آزمایش کشش نشان می دهد حساسیت قابل توجهی از فیلم های رنگی حتی به تماس کوتاه مدت با حلال [۸۰]. داده های ترمومکانیکی در مورد فشردن سازی فیلم های رنگ سفید سرب که با حلال ها کار می شوند نیز می توانند به این ترتیب تفسیر شوند [۸۱].

به دلیل واکنش پذیری آن حتی در دمای محیط، نمی توان اهمیت بارگذاری PbO را به عنوان یک جز یا به عنوان ناخالصی بیش از حد بیان کرد. مشخص شد که مشکلات در صنعت رنگ با خمیرهای تجاری سرب قرمز حاوی تقریباً ۱۵٪ لیتارژ به دلیل بارگاهی است که با روغن ها واکنش داده و صابونهای اسید چرب تشکیل داده است. خمیرهای سرب قرمز در مدت کوتاهی به یک شرایط غیرقابل سفت شدن سخت می شوند. این مشکل وقتی برطرف شد که پیشرفتهای فن آوری غلظت بار را به کمتر از ۳٪ کاهش دهند [۸۲].

ترکیبات (رنگدانه ها) اصلی سرب در تماس با روغن و هوا، بسته به ترکیب شیمیایی ترکیبات، با سرعت های مختلف واکنش نشان داده و حل می شوند. لیتارژ با سرعت بیشتری واکنش نشان می دهد و در ۸۰ روز غلظت سرب در روغن تقریباً ۱۳٪ است در حالی که سرب قرمز بسیار پراکنده (Pb_3O_4) فقط به ۱٫۷٪ حل می شود و سفید سرب $(2PbCO_3.Pb(OH)_2)$ فقط به ۰٫۵۲٪ می رسد [۸۲].

این سوال که آیا کربنات سرب اساسی در روغن بذر حل خواهد شد یا خیر، بوتون^{۱۹} در سال ۱۹۱۶ به طور کامل بررسی شد [۵]. کربنات سرب پایه خالص در روغن دانه طی ۲۵ ماه مورد آزمایش قرار گرفت. از آزمایشات خود و از نظر انتقادی او در مورد کارهای منتشر شده قبلی، او تعیین کرد که در ظرف های مهر و موم شده در طول ۲۵ ماه، هیچ سربی در روغن حل نشده است و همچنین تفاوت قابل توجهی در تعداد اسید

¹⁸ Stas

¹⁹ Boughton

روغن رنگدانه در رابطه با روغن بدون رنگ اگر مقداری هوا در ظرف موجود بود، فلز در روغن حل می شود. در مقایسه با سایر مطالعات منتشر شده، بوتون نتیجه گرفت که این مطالعات نشان می دهد که یون های فلزی به دلیل اثر متقابل روغن و رنگدانه با هوا (و احتمالاً رطوبت)، انحلال یون های فلزی را نشان می دهد. این واقعیت که صابونهای سربی تشکیل شده برای کیفیت استفاده از رنگ مهم هستند، با این واقعیت نشان داده می شود که نقاشان تجاری به جای رنگهای تازه تهیه شده، رنگ سفید یا خمیر سرب مخلوط قدیمی را ارزیابی می کردند [۴۵، ص ۱۷۳]. از روغنهای راکتیو با مقدار اسید بالا برای خرد کردن رنگدانه های سفید سرب با نتایج عالی استفاده می شود [۸۳]. هیدرولیز روغن بذر کتان می تواند در رنگهای سفید سرب حتی پس از خشک شدن بسیار گسترده باشد. پس از ده سال، مشخص شد که یک فیلم رنگی که در شرایط موزه ذخیره شده است، ارتباطات استرهای چرب اشباع شده اش تقریباً ۲۵٪ کاهش یافته است [۸۴]. رنگهای سفید سرب تجاری در فضای باز در تماس با نور و رطوبت در کمتر از سه سال می توانند به این سطح برسند [۷۵]. مطالعه مجموعه ای از نقاشی های روغن قدیمی توسط ترنر و سارگنت نشان داد که سطح هیدرولیز رنگها تا ۹۰٪ پس از دویست سال وجود دارد [۸۵].

رفتار خشک کردن یک کربنات سرب پایه در سال ۱۹۲۳ توسط رودز و وان ویرت [۸۶] توصیف شد، آنها دریافتند که مقدار کل اکسیژن جذب شده در یک روغن رنگی بیشتر از یک روغن شاهد بدون رنگدانه است. این اثر بعداً در مرحله اکسیداسیون رخ می دهد تا در آغاز. جالب توجه است که گزارش شده است که مواد فرار بیشتری نسبت به روغن غیر رنگدانه با روغن رنگدانه ای تشکیل می شود.

اطلاعات قابل توجهی در مورد ترکیبات اصلی سرب و ترکیبات مختلف آنها جمع آوری شده است. رفتار هوازدگی رنگهای تهیه شده از برخی از این مواد بررسی شده و به استثنای سولفات سرب پایه، واکنش قابل توجهی از رنگدانه با روغن برای تشکیل صابون مشاهده شده است [۷۵]. تا سال ۱۹۵۰ رنگهای بیرونی حاوی سفید روی یا دی اکسید تیتانیوم علاوه بر سفید سرب با خشک کنهای منگنز یا کبالت نیز بودند [۸۷].

استات سرب

استات سرب مجموعه ای از ترکیبات را به عنوان استات سرب خنثی، استاتهای اصلی سرب، تترا استات سرب و همچنین هیدراتهای مختلف اینها تشکیل می دهد. استات سرب در حالی که به عنوان خشک کننده و نه به عنوان رنگدانه استفاده می شود، همان مشکلات را دارد که در بالا ذکر شد. خلوص مواد اولیه و محصول نهایی بر رفتار مواد تأثیر می گذارد [۹۰، ص ۳۲-۳۴]. استفاده از استات سرب به عنوان خشک کن در میان هنرمندان انگلیسی قرن نوزدهم به سختی توسط کارلایل [۵۲] بررسی شده است اما رنگ ها از تجزیه نمک برای دادن اسید استیک رنج می برند که ماهیت واکنشی آن کاملاً شناخته شده است. مشکل

استفاده از استات سرب "اضافی" منجر به گل آذین هایی می شود که باعث لاک زدن یا نقاشی های مبهم می شوند [۵۲، ۶۳، ص. ۱۰۹].

اکسیدهای سرب: litharge

لیتارژ می تواند در طیف وسیعی از رنگهای کم رنگ وجود داشته باشد اما وهلت عقیده دارد که هرگز به عنوان رنگدانه هنرمندان استفاده نشده است [۳، ص. ۸۲] اگرچه به وضوح باید بخشی از مخلوط های رنگدانه باشد. وقتی فلز سرب در هوا گرم می شود، اولین اکسید تشکیل شده PbO یا لیتارژ است. وقتی با روغن مخلوط می شود، به سرعت با اسیدهای چرب آزاد واکنش نشان می دهد و باعث خشک شدن کبد می شود. صابون سربی شکل گرفته نرم است و در کیفیت کار رنگ اختلال ایجاد نمی کند [۹۱]. در رنگ های تجاری، لیتارژ به طور سنتی با دوده چراغ یا کربن سیاه مخلوط می شد تا رنگ هایی به سرعت خشک شوند و در هنرهای زیبا نیز روش مشابهی توصیه شده است. این رنگها باید به زودی پس از اختلاط استفاده می شدند [۱، ص ۲۸۲؛ ۴۵، ص ۵۳-۵۴].

اکسیدهای سرب: سرب قرمز

تاریخچه، کاربرد و خصوصیات سرب قرمز اخیراً توسط فیتزهيو^{۲۰} بررسی شده است [۹۲]. سرب قرمز، Pb₃O₄، ممکن است هنگام گرم شدن لیتارژ در دمای بیش از ۳۱۶ درجه سانتیگراد (۶۰۰ درجه فارنهایت) تشکیل شود. به طور کلی حاوی مقداری لیتارژ (از ۲٪ تا ۱۵٪) است و کاملاً راحت با روغنهای خشک کننده واکنش نشان می دهد. روغنهای رنگی سرب قرمز باید سریع استفاده شوند در غیر این صورت خشک می شوند و برای استفاده نامناسب می شوند [۴۵، ص ۵۴-۶۱؛ ۹۲] فیلم هایی که از سرب قرمز و روغن تشکیل شده اند، به مرور زمان حتی از مواد تشکیل شده از لیز نیز شکننده تر می شوند [۴۵، ص ۱۶۲].

سایر ترکیبات سرب

نظراتی که در مورد تهیه کربنات سرب پایه داده می شود، در مورد سایر رنگدانه های جزئی با پایه سرب نیز قابل استفاده است. خلوص مواد اولیه و کامل بودن واکنش نیز بر توانایی خشک شدن رنگدانه های پایه اکسید تأثیر می گذارد.

زرد سرب - قلع، رنگدانه زردی است که با حرارت دادن مخلوط اکسیدهای سرب و قلع ساخته می شود. به گفته نویسندگان، زمان خشک شدن و رفتار این رنگدانه در روغن دانه در هر دو روغن بذر سرد فشرده و یک

²⁰ FitzHugh

روغن با سرب اضافه شده به عنوان خشک کن یکسان است. از آنجا که سرب موجود در رنگدانه (و احتمالاً هر ناخالصی سرب) کاتیونی است، سرب ممکن است با تشکیل نمک های اسید چرب در روغن حل شده و به کاهش زمان خشک شدن کمک کند [۹۳]. زرد سربی قلع در رنگهای خشک شده با گذشت زمان صابونهای سربی می دهد [۹۴].

زرد ناپل رنگدانه ای است که در اثر حرارت دادن مخلوط اکسیدهای سرب و آنتیموان (یا نمک ها) ایجاد می شود. به آن زرد سرب-آنتیمونات نیز گفته می شود. این رنگدانه به عنوان یک اثر خشک کنندگی قوی روی روغنهای خشک کننده توصیف می شود. شرح و تاریخچه رنگدانه در جلد اول Artists' Pigments منتشر شده است. کتابچه راهنمای تاریخ و خصوصیات آنها [۹۵]. یک زرد سرب - قلع - آنتیموان نیز به عنوان محصولی در رابطه با ساخت شیشه ایتالیایی توصیف شده است [۹۶].

تشکیل نمکهای سرب از سرب قرمز، سفید سرب و زرد ناپل توسط طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) مورد مطالعه قرار گرفته است که نشان دهنده هیدرولیز روغن و همچنین تشکیل نمک است [۹۷]. یک مطالعه مشابه، اما با استفاده از حرارت دادن در ۱۲۵ درجه سانتیگراد برای تسریع واکنش، نشان داد که نمک های سرب از روغن های رنگی با سرب قرمز، لیتارژ، سفید سرب و زرد ناپل تشکیل می شوند، اما جالب اینکه، نه با سولفات سرب سفید، که ممکن است عملکرد ضعیف سولفات خالص را به عنوان یک خشک کن توضیح دهد [۹۸].

تشکیل نمکهای سرب (صابونها) از رنگدانه ها می تواند بر رفتار رنگها تأثیر بگذارد. نمک های محلول در روغن می توانند باعث جذب اکسیژن در طی فرآیند خشک شدن شوند و صابون های نامحلول می توانند به تعلیق رنگدانه ها کمک کرده و کیفیت ذخیره سازی رنگ را بهبود بخشند [۶، ص ۵۶]. ممکن است صابون های سربی به رنگدانه ها اضافه شود تا آسیاب شود [۳۳]. یک نفتنات سرب نامحلول در آب را می توان با یک نفتنات سدیم محلول در آب ترکیب کرد و مخلوطی محلول در روحيات معدنی ساخت. این محلول برای خیساندن و پراکندگی برای استفاده با رنگدانه ها و رنگها موثر است [۹۹].

واکنش قبلی کربنات سرب پایه با یک نمک اسید چرب اشباع (به عنوان مثال، استئارات سدیم) برای تشکیل یک رنگدانه پیچیده، که پس از آن با روغن بذر کتان تولید می شود، پایه ای برای ثبت اختراع فرانسه برای یک رنگ سرب است [۱۰۰].

توانایی ترکیبات سرب در تشکیل نمک های اسید چرب با واکنش با محیط روغن ممکن است ظاهر رفتار خشک به لمس را بیش از تجزیه اکسیداسیون یا کوتاه شدن زمان القا توضیح دهد. در جستجوی جایگزینهای سرب در ترکیبات خشک کن کبالت - سرب، زیرکونیوم و کلسیم جایگزینهای مناسبی بودند، گرچه هیچ

یک از آنها قادر به تغییر وضعیت اکسیداسیون در روغن نیستند [۸، ۱۰، ۱۰۱]. این مطابق با یافته های قبلی است که نشان می دهد نسبت به مثلاً نفتنات های پتاسیم یا زیرکونیوم در رنگهای الکیدی خشک شده در هوا خشک کن کمتر کارآمد است [۲۴]. کلبساتل^{۲۱} خلاصه ادبیات قابل توجهی را بیان می کند که: "سرب به عنوان یک دستیار اکسیداسیون از قدرت خاصی برخوردار نیست، اما به عنوان کمک به پلیمریزاسیون بسیار عالی است" [۱۰۲].

نتیجه گیری

تأثیرات سرب در تشکیل فیلم لاک و رنگ را می توان بر سه اصل توصیف کرد:

- اول، یونهای سرب اثر تسریعی در جذب اکسیژن و اکسیداسیون دارند اما به اندازه کبالت، منگنز یا فلزات دیگر موثر نیستند. این اثر تنها در صورت حل شدن سرب در روغن و جدا شدن مشاهده می شود، اما همه ترکیبات سرب حل و تفکیک نمی شوند.
 - دوم، رفتار خشک شدن پنهان است زیرا سرب در ارتقا از طریق خشک کردن موثر است، که بر تشکیلات بعدی پلیمر تأثیر می گذارد، رفتاری مانند خشک کن های غیرکاتالیزوری مانند زیرکونیوم و کلسیم دارد.
 - سوم، تشکیل صابونهای سربی در حضور رطوبت و هوا حتی قبل از استفاده از رنگ وجود دارد. اینها بر خیس شدن رنگدانه ها تأثیر می گذارند و علاوه بر تقویت اکسیداسیون، ژل نیز ایجاد می کنند.
- تفاوت در رفتار شیمیایی رنگهای پایه سرب نتیجه تغییر در کیفیت و خلوص رنگدانه ها و روغن های مورد استفاده در ساخت آنها است. همانطور که در استانداردهای صنعتی مواد اولیه یکنواخت تری ایجاد شده است، رنگ ها رفتار قابل پیش بینی تری را به خود اختصاص داده اند. در حال حاضر رنگهای روغن هنرمندان بسیار فرموله شده و مشخص وجود دارد.

سپاسگزاری

نویسندگان مایلند از کتابخانه های موسسه اسمیتسونیان^{۲۲} و به ویژه گیل تیلور^{۲۳} برای کمک به آنها در یافتن بسیاری از منابع استفاده شده در این مقاله تشکر کنند.

²¹ Klebsattel

²² Smithsonian Institution Libraries

²³ Gil Taylor

منابع

1. Mulder, G.J., Die Chemie der austrocknenden Öle, Verlag von Julius Springer, Berlin (1867).
2. Elm, A.C., 'A century of progress in driers', Industrial and Engineering Chemistry 26 (1934) 386–388.
3. Wehlte, K., The Materials and Techniques of Painting, trans. U. Dix, Van Nostrand Reinhold Company, New York, London (1975).
4. Gettens, R.J., and Stout, G.L., Painting Materials. A Short Encyclopaedia, Dover Publications, Mineola, NY (1966) 175.
5. Boughton, E.W., Technologic Papers of the Bureau of Standards, No. 71 Effect of Certain Pigments on Linseed Oil, Government Printing Office, Washington, D.C. (1916) 12.
6. Bennett, E.F., A Review of Driers and Drying, Chemical Publishing Co., Brooklyn, NY (1941).
7. Stewart, W.J., 'Driers', in Treatise On Coatings/FilmForming Compositions, ed. R.R. Myers and J.S. Long, Marcel Dekker, New York (1967) Vol. 1, Part 1, 211–223.
8. Meneghetti, S.M.P., de Souza, R.F., Monteiro, A.L., and de Souza, M.O., 'Substitution of lead catalysts by zirconium in the oxidative polymerization of linseed oil', Progress in Organic Coatings 33 (1998) 219–224.
9. Morley-Smith, C.T., 'Metal-drier catalysis', Journal of the Oil and Colour Chemists' Association 40 (1957) 1035–1050.
10. Mack, G.P., and Parker, E., United States Patent 2,739,902, March 27, 1956.
11. Marling, P.E., 'Accelerators and inhibitors of linseed oil drying', Canadian Chemistry and Metallurgy 11 (1927) 63–66.
12. Morgan, H.H., 'Cobalt and other metals as driers in the paint and allied industries', Paint Manufacture 21 (1951) 239–248, 259.
13. Olson, J., 'Cobalt and its compounds', Monthly Digest National Varnish Manufacturers' Association 17 (1921) 2–12.
14. Girard, T.A., Beispiel, M., and Bricker, C.E., 'The mechanism of cobalt drier action', Journal of the American Oil Chemists' Society 42 (1965) 828–833.

15. Knauss, C.A., 'Naphthenate driers', Official Digest of the Federation of Paint and Varnish Production Clubs 136 (1934) 158–160.
16. Meier, K., and Ohm, K., 'Ein Beitrag zur Kenntnis der Trockenstoffwirkung', Farbe und Lack 59 (1953) 50–54.
17. Mueller, E.R., 'Mechanism of drier action: proposal', Industrial and Engineering Chemistry 46 (1954) 562–569.
18. Waters, W.A., 'The kinetics and mechanism of metalcatalyzed autoxidation', Journal of the American Oil Chemists' Society 48 (1971) 442–447.
19. Bellettiere, S.J., and Mahoney, D.M., 'Multi-metallic complexes: the next generation of driers', Journal of Coatings Technology 59 (1987) 101–108.
20. Steele, L.L., 'Effect of certain metallic soaps on the drying of raw linseed oil', Industrial and Engineering Chemistry 16 (1924) 957.
21. Osawa, Z., 'Role of metals and metal-deactivators in polymer degradation', Polymer Degradation and Stability 20 (1988) 203–236.
22. Datta, R.L., and Das, A., 'Comparative efficiency of metallic driers and their compound efficiency in drying', The Chemical Age 40 (1939) 21–22.
23. Marling, P.E., 'Accelerators and inhibitors of linseed oil drying', Official Digest of the Federation of Paint and Varnish Production Clubs 127 (1933) 227–229.
24. Stewart, W.J., 'The rare metal soaps and the paint industry', Official Digest of the Federation of Paint and Varnish Production Clubs 26 (1954) 413–425.
25. Currier, A.J., and Kagarise, I.H., 'Rate of linseed oil oxidation with driers', Industrial and Engineering Chemistry 29 (1937) 467–469.
26. Feldman, M.L., and Landau, M., United States Patent 4,331,575, May 25, 1982.
27. Andersson, B., and Nylen, P., 'Kinetic investigations into the metal catalysed autoxidation of methyl linoleate', Acta Chemica Scandinavica 3 (1949) 1077–1081.
28. Coffey, S., 'The mechanism of the oxidation of drying oils as elucidated by a study of the true oxygen absorption. Part III. The action of driers', Journal of the Chemical Society 121 (1922) 17–23.
29. Usman, N., 'Development of novel driers', Journal of the Oil and Colour Chemists' Association 71 (1988) 17–19.
30. Mallegol, J.J., Lemaire, J., and Gardette, J.-L., 'Drier influence on the curing of linseed oil', Progress in Organic Coatings 39 (2000) 107–113.
31. Rhodes, F.H., and Chen, K.S., 'Vanadium compounds as driers for linseed oil', The Journal of Industrial and Engineering Chemistry 14 (1922) 222–224.

32. Swehten, R., 'Die Verwendung von Vanadiumverbindungen zur Herstellung von Sikkativen', *Farben-Zeitung* 32 (1927) 1138–1139.
33. Rinse, J., 'Metal soaps', *American Paint Journal* 22–28 (March 13, 1967).
34. Mills, M.R., *An Introduction to Drying Oil Technology*, Pergamon Press, London (1952).
35. Swarcman, A., United States Patent 1,407,952, February 28, 1922.
36. Finnie, W., Grant, R., and McColm, K., 'The adsorption of metallic driers by pigments', *American Paint Journal* 21 (1936) 7–10.
37. Mackey, W.M., and Ingle, H., 'Action of "driers" on olive oil', *Journal of the Society of Chemical Industry* 35 (1916) 454–456.
38. Taüber, E., 'Über olivenöhlhaltige Farbenbindemittel', *Farben-Zeitung* 34 (1929) 2460–2461.
39. Rinse, J., 'Influence of driers on photopolymerization of linseed oil', *Paint and Varnish Production Manager* 21 (1941) 166.
40. Rasti, F., and Scott, G., 'The effects of some common pigments on the photo-oxidation of linseed oil-based paint media', *Studies in Conservation* 25 (1980) 145–156.
41. Weger, M., *Die Sauerstoffaufnahme der Öle und Harze*, Verlag von Eduard Baldamus, Leipzig (1899).
42. Hooker, A.H., *A Treatise on White Lead, Linseed Oil, Turpentine and Volatile Solvents and Zinc White*, Heath & Milligan Mfg Co., Chicago (n.d.) 48–49.
43. Andes, L.E., *Drying Oils, Boiled Oil, and Solid and Liquid Driers*, Scott, Greenwood & Son, London (1917).
44. Perry, A., *Varnishes, Driers and Drying Oils*, Oil, Paint and Drug Reporter, Inc., New York (1927).
45. Toch, M., *The Chemistry and Technology of Paints*, D. Van Nostrand Company, New York (1916).
46. Ingle, H., 'Theory of the action of "driers"', *Journal of the Society of Chemical Industry (London)* 36 (1917) 319–321.
47. Balfe, M.P., and Chatfield, H.W., 'The interaction of litharge with carboxylic esters and with linseed oil', *Journal of the Society of Chemical Industry* 59 (1940) 31–34.
48. Elliott, S.B., *The Alkaline-Earth and Heavy-Metal Soaps*, American Chemical Society Monograph, Reinhold Publishing Company, New York (1946).
49. Mayne, J.E.O., and Ramshaw, E.H., 'Inhibitor of the corrosion of iron. II. Efficiency of the sodium, calcium and lead salts of long chain fatty acids', *Journal of Applied Chemistry* 10 (1960) 419–422.
50. Swarcman, A., United States Patent 1,291,186, January 14, 1919.

51. Morrell, R.S., and Wood, H.R., *The Chemistry of Drying Oils*, D. Van Nostrand Company, New York (1925).
52. Carlyle, L., 'Paint driers discussed in 19th-century British oil painting manuals', *Journal of the American Institute for Conservation* 38 (1999) 69–82.
53. Merrifield, M.P., *Medieval and Renaissance Treatises on the Arts of Painting. Original Texts with English Translations*, Dover Publications, Mineola, NY (1967).
54. Kühn, H., 'Bleiweiss und seine Verwendung in der Malerei', *Farbe und Lack* 73 (1967) 99–105.
55. Kühn, H., 'Bleiweiss und seine Verwendung in der Malerei (2)', *Farbe und Lack* 73 (1967) 209–213.
56. Pulsifer, W.H., *Notes for a History of Lead*, D. Van Nostrand Company, New York (1888).
57. Gettens, R.J., Kühn, H., and Chase, W.T., 'Lead white', in *Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics* 2, ed. A. Roy, National Gallery of Art, Washington, D.C., Oxford University Press, Oxford (1993) 67–81.
58. Holley, C.D., *The Lead and Zinc Pigments*, John Wiley & Sons, New York (1909).
59. Thompson, G.W., 'The action of white lead on linseed oil', *Drugs, Oils & Paints* 30 (1915) 375–376.
60. Fox, J.J., and Bowles, T.H., *The Analysis of Pigments, Paints and Varnishes*, Ernest Benn Limited, London (1927).
61. Sabin, A.H., 'White-Lead, Its Use In Paint', John Wiley & Sons, New York (1920).
62. Thompson, G.W., and Stewart, A., United States Patent 2,218,940, October 22, 1940.
63. Church, A.H., *The Chemistry of Paints and Painting*, Seeley and Co., London (1901).
64. O'Neill, L.A., and Brett, R.A., 'Chemical reactions in paint films', *Journal of the Oil and Colour Chemists' Association* 52 (1969) 1054–1074.
65. Andersson, K., and Lingnert, H., 'Influence of oxygen and copper concentration on lipid oxidation in rapeseed oil', *Journal of the American Oil Chemists' Society* 75 (1998) 1041–1046.
66. Franzke, C., Kretzschmann, F., and Strobach, J., 'Über den Einfluss von Mono- und Diglyceriden auf die durch Schwermetallionen katalysierte Autoxydation von Ölsäure und Ölsäuremethylester', *Die Nahrung* 11 (1967) 523–528.
67. Rampley, D.N., and Hasnip, J.A., 'Autoxidation and antioxidants', *Journal of the Oil and Colour Chemists' Association* 59 (1976) 356–362.

68. Mayne, J.E.O., 'The pigment/vehicle relationship in anticorrosive paints', *Journal of the Oil and Colour Chemists' Association* 34 (1951) 473–480.
69. Mayne, J.E.O., and Van Rooyen, D., 'The mechanism of the corrosion-inhibitive action of paints, with special reference to basic pigments', *Journal of Applied Chemistry* 4 (1954) 384–394.
70. Mayne, J.E.O., and Ramshaw, E.H., 'Autoxidation of the lead soaps of the linseed oil fatty acids', *Journal of Applied Chemistry* 13 (1963) 553–560.
71. Katz, G., and Lefker, R., 'Basic lead carbonate, $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ', *Analytical Chemistry* 29 (1957) 1894.
72. Keisch, B., 'X-ray diffraction and the composition of lead white', *Studies in the History of Art* (1972) 121–133.
73. Mauch, H., and Brunold, A., 'Über ein neues Bleihydroxycarbonat', *Helvetica Chimica Acta* 40 (1957) 86–87.
74. Olby, J.K., 'The basic lead carbonates', *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry* 28 (1966) 2507–2512.
75. Stewart, W.J., 'Lead pigments and paints', *Official Digest of the Federation of Paint and Varnish Production Clubs* 311 (1950) 1100–1113.
76. Todd, G., and Parry, E., 'Character of lead hydroxide and basic lead carbonate', *Nature* 202 (1964) 386–387.
77. Fielding, T.H., *On The Theory And Practice of Painting In Oil And Water Colours*, Ackerman & Co., London (1846) 178–179.
78. Mecklenburg, M.F., and Tumosa, C.S., 'Traditional oil paints: the effects of long-term chemical and mechanical properties on restoration efforts', *Materials Research Society Bulletin* 26 (2001) 51–54.
79. Toch, M., *Materials for Permanent Painting*, D. Van Nostrand Company, New York (1911) 121.
80. Tumosa, C.S., Millard, J., Erhardt, D., and Mecklenburg, M.F., 'Effects of solvents on the physical properties of paint films', in *12th Triennial Meeting Lyon 29 August–3 September 1999. ICOM Committee for Conservation, Preprints Volume I*, ed. J. Bridgland, James & James, London (1999) 347–352.
81. Hedley, G., Odlyha, M., Burnstock, A., Tillinghast, J., and Husband, C., 'A study of the mechanical and surface properties of oil paint films treated with strong solvents and water', in *Cleaning, Retouching and Coatings. Technology and Practice for Easel Paintings and Polychrome Sculpture. Preprints of the Contributions to the Brussels Congress, 3–7 September 1990*, ed. J.S. Mills and P. Smith, International Institute for Conservation (IIC), London (1990) 98–105.

82. Shaeffer, J.A., 'Some comments on lead pigments', Official Digest of the Federation of Paint and Varnish Production Clubs 126 (1933) 180–189.
83. Swarcman, A., 'Linseed oil', Official Digest of the Federation of Paint and Varnish Production Clubs 29 (1922) 9–12.
84. Erhardt, D., Tumosa, C.S., and Mecklenburg, M.F., 'Longterm chemical and physical processes in oil paint films', Studies in Conservation 50 (2005) 143–150.
85. Van den Berg, J.D.J., Van den Berg, K.J., and Boon, J.J., 'Chemical changes in curing and ageing oil paints', in 12th Triennial Meeting Lyon 29 August–3 September 1999. ICOM Committee for Conservation, Preprints Volume I, ed. J. Bridgland, James & James, London (1999) 248–253.
86. Rhodes, F.H., and Van Wirt, A.E., 'The effect of various pigments upon the rate of oxidation of linseed oil', Industrial and Engineering Chemistry 15 (1923) 1135–1140.
87. Kelly, A.A., The Expert Paint Mixer, David McKay Company, Philadelphia (1923) 64–82.
88. Stieg, F.B., 'Review of white pigments', Paint Industry Magazine 75(4)(1960) 8–15.
89. Anon., 'United States government specification for basic sulfate white lead, dry and paste', Circular of the Bureau of Standards No. 85 (July 3, 1922).
90. Lambert, T., Lead and Its Compounds, Scott, Greenwood & Co., London (1902).
91. Kortums, J.E., 'The livering of paint', Official Digest of the Federation of Paint and Varnish Production Clubs 46 (1924) 10–12.
92. FitzHugh, E.W., 'Red lead and minium', in Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics 1, ed. R.L. Feller, National Gallery of Art, Washington, D.C. (1986) 109–139.
93. Kühn, H., 'Lead-tin yellow', in Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics 2, ed. A. Roy, National Gallery of Art, Washington, D.C., Oxford University Press, Oxford (1993) 83–112.
94. Higgitt, C., Spring, M., and Saunders, D., 'Pigment-medium interactions in oil paint films containing red lead or lead-tin yellow', National Gallery Technical Bulletin 24 (2003) 75–91.
95. Wainwright, I.N.M., Taylor, J.M., and Harley, R.D., 'Lead antimonate yellow', in Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics 1, ed. R.L. Feller, National Gallery of Art, Washington, D.C. (1986) 219–254.
96. Sandalinas, C., and Ruiz-Moreno, S., 'Lead-tin-antimony yellow: historical manufacture, molecular characterization and identification in seventeenth-century Italian paintings', Studies in Conservation 49 (2004) 41–52.

97. Van der Weerd, J., *Microspectroscopic Analysis of Traditional Oil Paint*, Foundation for Fundamental Research on Matter (FOM), Amsterdam (2002) 74–99.
98. Luxan, M.P., and Dorrego, F., 'Reactivity of earth and synthetic pigments with linseed oil', *Surface Coatings International* 82 (1999) 390–402.
99. Minich, A., and Levinson, H., *Unites States Patent* 2,236,296, March 25, 1941.
100. Ramage, A.S., *French Patent* 419,470, August 17, 1910 (cited in *Journal of the Society of Chemical Industry (London)* 30 (1911) 224.
101. Agrawal, D., and Vasishtha, A.K., 'Drier compositions for air drying coatings', *Journal of the Oil and Colour Chemists' Association* 65 (1982) 349–352.
102. Klebsattel, C.A., 'Paint driers', in *Protective and Decorative Coatings*, ed. J.J. Mattiello, John Wiley & Sons, New York (1941) Vol. 1, 499–534.

نویسندگان

چارلز توموسا یک شیمی دان ارشد تحقیقاتی در مرکز تحقیقات و آموزش مواد اسمیتسونیان در سویت لند ،
مربلند است. وی دکترای شیمی خود را از دانشگاه پلی تکنیک ویرجینیا و دانشگاه ایالتی در سال ۱۹۷۲
دریافت کرد.

ماریون اف. مکلبورگ یک دانشمند ارشد فیزیکی در مرکز تحقیقات و آموزش مواد اسمیتسونیان است. وی
به مدت ۲۰ سال به عنوان سرپرست کار کرده است و دکترای مهندسی سازه را از دانشگاه مربلند دریافت
کرده است.

Iranian Journal of Restoration and Archaeometry

Journal Information:

License Holder and Chief Advisor: Dr. Mehdi Razani

Managing Editor and Editor-in-Chief: Jalil Esmailnezhad TeymourAbadi

Executive Officer: Hamed alipurhasuni

Reviewer: Leyli Na'amani Khiavi

Logo Designer: Haft Rang and Narvash Artistic and Restoration Institution (Inspired by *Journal of Research on Archaeometry*)

Cover Designer: Kayhan Abdollahi Makui

Editorial Team:

Hakimeh Afsharinezhad (Archaeometry, MA)

Abdolbasir Hoseinbar (conservation and restoration of cultural property, PhD Candidate)

Fatemeh Sehati (Archaeometry, MA)

Yasin Sedghi (Archaeometry, MA)

Javad Abbasi (conservation and restoration of cultural property, PhD Candidate)

Talhe Ghodusian (Archaeometry, MA)

Mahdi Ghorbani (conservation and restoration of cultural property, PhD Candidate)

Ramin Mohammadi Sefid Khani (Archaeometry, MA)

Leyli Na'amani Khiavi (conservation and restoration of cultural property, MA)

Jalil Esmailnezhad TeymourAbadi (conservation and restoration of cultural property, MA Student)

Address: Tabriz Islamic Art University, Hakim Nezami Sq., Azadi St., Tabriz, Iran

Email: maremat.bastansanji@gmail.com

Website: <http://faa.tabriziau.ac.ir>



دانشگاه مجلس شورای اسلامی ایران

Iranian Journal of Restoration and Archaeometry



Vol.2, No1, Semi-Annual Spring & Summer 2021

- Investigation on a Paper document containing the decree of Nasser al-Din Shah belonging to the Qajar dynasty

Sediqueh Naderi Jeloudara; Forozan haghshenas gatbi

- Common Techniques and Materials used in Recent Paper Works: Special focus on Rosin-based Sizing in Machine-made Papers

Mahdi Ghorbani

- An Overview of the Archaeometrical and Structural Studies of the Buff Potteries in the Shahr-i Sokhta (Sistan and Balouchistan)

Yasin Sedghi, Farahangiz Sabouhi-Sani

- Bibliography in the field of conservation and restoration and archaeometry of gypsum materials and arrays in Persian

Hamed yagubzadeh, Mehdi razani, Armin mosakhani

- Analysing, modelling and promoting tangible and intangible values of building heritage with historic flame lighting system

Paola Lassandro, C.S. Fioriello, Maria Lepore, Marina Zonno

- The influence of lead ions on the drying of oils

Charles S. Tumosa & Marion F. Mecklenburg