

بررسی نحوه‌ی ساخت رنگدانه‌ی زنگار و روند تخریب آن در آثار کاغذی

محبوب عبدالعلی زاده^{۱*} - رعنا بهره‌مندی پور فرد^۲

*-محبوب عبدالعلی زاده، کارشناس ارشد مرمت اشیای فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان، تبریز: mahboob9067@yahoo.com

^۲- رعنا بهره‌مندی پور فرد، دانشجوی کارشناسی ارشد باستان‌سنجی، دانشگاه هنر تبریز، تبریز: r.bahremandi@yahoo.com

چکیده:

در این تحقیق به شیوه‌های ساخت رنگدانه‌ی سبز زنگار که در دوره‌های تاریخی مورد استفاده بوده و نیز به روند تخریب کاغذ توسط این رنگدانه پرداخته می‌شود. چراکه شناخت تکنیک ساخت رنگدانه کمک زیادی در آسیب‌شناسی آن در آثار تاریخی خواهد نمود. روش‌های ساخت زنگار در مناطق مختلف متفاوت بوده و هنرمندان از طرق مختلف رنگدانه‌ی سبز زنگاری را به عمل می‌آوردند اما همگی آن‌ها در این موضوع اشتراک نظر دارند که زنگار از واکنش بین فلز مس و اسیدهای ضعیف حاصل می‌گردد. روش‌های مختلف در ساخت زنگار باعث ایجاد خواص متفاوت در ترکیبات آن می‌شود. با وجود اینکه خصوصیت تخریبی زنگار بر هنرمندان بارز بوده اما استفاده‌ی گسترده‌ای داشته است. زنگار پس از گذشت زمان باعث تخریب تکیه‌گاه کاغذی خود شده و روند تخریب از تغییر رنگ مایل به قهوه‌ای در تکیه‌گاه کاغذی تا تخریب کامل آن است.

کلید واژگان: زنگار، رنگدانه، مس، سرکه، کاغذ، تخریب

مقدمه

رنگدانه‌ها در آثار هنری از زمان‌های قدیم مورد استفاده‌ی هنرمندان بوده است. آن‌ها رنگدانه‌ها را از منابع مختلف و به شیوه‌های خاص تهیه می‌کردند. زنگار نیز از جمله رنگدانه‌هایی است که از زمان‌های دور شناخته شده بود و در آثار هنری بکار گرفته شده است. هنرمندان این رنگدانه را بر روی سطوح مختلف همانند چوب، پارچه، سنگ، پارشمن و کاغذ استفاده می‌کردند (De la Roja, 2007). طریقه‌ی ساخت زنگار در مناطق مختلف متفاوت بوده و هر منطقه‌ای شیوه‌ای خاص در ساخت زنگار را دنبال می‌کرد. هنرمندان در گذشته با اینکه به خصوصیت تخریبی زنگار پی برده بودند اما همچنان از آن در مینیاتورها، تذهیب و کتاب‌آرایی استفاده می‌کردند. چراکه زنگار جزو رنگدانه‌های سبز بسیار محبوب در بین هنرمندان بشمار می‌رفت. زنگار به شدت آثار تاریخی را تحت تأثیر قرار داده و منجر به زوال آن می‌گردد؛ بنابراین مطالعه و شناخت کامل رنگدانه‌ی زنگار به لحاظ فن‌شناسی و آسیب‌شناسی حائز اهمیت بوده و مرمتگران و حفاظتگران را در امر تصمیم‌گیری در خصوص شیوه‌های برخورد با اثر تاریخی یاری می‌نماید.

مطالعات زیادی درباره‌ی رنگدانه‌ها انجام شده و از جنبه‌های مختلف به بررسی آن‌ها پرداخته شده است. از آنجاکه رنگدانه‌ی زنگار یکی از مهم‌ترین رنگدانه‌های موجود در آثار هنرمندان گذشته است و همچنین به دلیل خصوصیت تخریبی آن، توجه پژوهشگران را جلب کرده است. از مهم‌ترین مطالعات انجام شده می‌توان به مقاله‌های خانم ماندانا برکشلی اشاره کرد. ایشان در مقاله‌ای با موضوع «رنگ سبز زنگار و مراحل تخریب آن در مکتوبات مذهب» به شرح این رنگدانه پرداخته و در نهایت به روند تخریب زنگار در آثار کاغذی اشاره کرده است (برکشلی ۱۳۷۶). در مقاله‌ای دیگر ایشان به نقش بازدارندگی زعفران در تخریب سبز زنگار در نگاره‌های ایرانی پرداخته و این موضوع را به اثبات رسانده‌اند (برکشلی ۱۳۸۴). خانم پرستو نعیمی به بررسی روند تخریب رنگدانه‌های سبز - آبی مس در کتب شاهنامه و قرآن‌های موزه‌ی رضا عباسی پرداخته و تأثیرات زنگار را بر روی آثار

کاغذی موزه‌ی رضا عباسی بررسی نموده است (نعیمی ۱۳۸۵). در یک مقاله‌ای دیگر از kuhen با عنوان «زنگار و رزینات مس» به تاریخچه و روش ساخت زنگار و همچنین به ترکیبات شیمیایی آن پرداخته است (kuhen, 1970).

رنگدانه‌ی زنگار

وردی گریس^۱ به همین نام در منابع یونانی و رومی ذکر شده است و به معنی سبز یونانی^۲ است. پلینی آن را aerugo و ویتروویوس aeruca نامیده‌اند (یاجم ۱۳۸۵، ۳۳). رنگدانه‌ی زنگار به مون‌پیله نیز معروف است (محل ساخت آن در فرانسه). در یونان باستان بدان آئروجینوس^۳ یا همان زنگ‌زدگی مس گفته می‌شده است (ذهبی ۱۳۸۸، ۲۰). نویسندگان گذشته کلمات مذکور را برای محصولات خوردگی سبز و سبز-آبی تشکیل‌شده در سطح مس، آلیاژهای مس و کانی‌های مسی بکار می‌بردند. به‌عنوان مثال پلینی گفته است که aerugo از سطح کانی مس طبیعی تراشیده می‌شود اما امروزه این نام به انواع استات‌های مس که در طیف رنگی سبز، سبز-آبی تا آبی دیده می‌شوند اطلاق می‌گردد (یاجم ۱۳۸۵، ۳۳). تهیه‌ی آسان و همچنین ارزان بودن از جمله عواملی هستند که باعث شد در قرن ۱۶-۱۸ میلادی، زنگار به‌طور گسترده ساخته‌شده و به‌عنوان رنگ تزئینات از آن استفاده شود (Carison 1997). این رنگدانه از قرن ۱۵ تا قرن ۱۷ میلادی در نقاشی‌های سه پایه‌ای استفاده‌شده است. در بین رنگ‌های سبز، زنگار کاربرد منحصربه‌فردی در کشورهای ایتالیا، هلند و آلمان داشت (Kühn, 1970). زنگار از دوران باستان تا اوایل قرن ۱۹ میلادی توسط هنرمندان بکار گرفته می‌شد (De la Roja, 2007). به‌طوری‌که در نقاشی‌های به‌جای مانده از قرن ۱۸ و ۱۹ میلادی این رنگدانه یافت می‌شود (Kühn, 1970). تا قرن نوزده میلادی که مواد سنتزی در دسترس قرار گرفتند، رنگدانه‌ها از مواد معدنی طبیعی یا از خوردگی فلزات به دست می‌آمد (Solomon et al, 2011) و تنها تعداد محدودی رنگ سبز باثبات رنگی، پایداری شیمیایی و قدرت پوششی رنگ متناسب مورد استفاده بودند. اگرچه هنرمندان نسبت به طبیعت مخرب و عدم دوام رنگ‌های سبز سنتی مس دار آگاهی داشتند، باوجود این استفاده از این رنگ‌ها کماکان رواج داشت (برکشلی ۱۳۸۴، ۱۸۶).

نحوه‌ی ساخت زنگار در مناطق مختلف

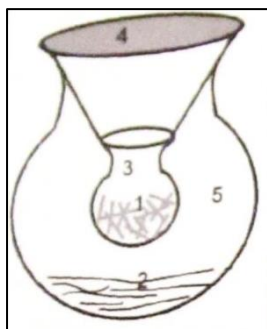
روش‌های مختلفی برای تهیه‌ی انواع رنگ سبز مس دار که در متون کهن بر همه‌ی آن‌ها واژه‌ی زنگار اطلاق می‌شده، وجود دارد. روش متداول تهیه‌ی زنگار چنین بوده است که در یک محفظه‌ی بسته، صفحات مسی را بر فراز سرکه‌ی داغ می‌آویختند تا اینکه بلورهای سبزرنگی روی فلز مس تشکیل گردد. در تمامی دستورالعمل‌ها، واکنش فلز مس یا آلیاژهای آن نسبت به سرکه در حضور اکسیژن و در غیاب دی‌اکسید کربن انجام می‌شده است. این فرایند در دمای بالا مثل توده پهن یا زباله صورت می‌گرفته است. محصولات این فرایند مخلوط پیچیده‌ای از استات بازی و خنثی مس، مالاشیت و فلزهای دیگر است. دستورالعمل‌های متنوع موجود ما را به رنگ‌های سبز مس دار مختلفی از قبیل سبز نمک (salt green) یا سبز اسپانیولی (Spanish green) هدایت می‌کند (برکشلی، ۱۸۷).

احتمالاً قدمت ساخت زنگار به دورانی حتی پیش از تولید مس بازمی‌گردد زیرا که تمدن‌های باستان بدون شک با کانی‌های مس و رنگ‌های آن‌ها آشنایی داشته‌اند ولی تولید آن برای مصارف هنری احتمالاً پس از ساخت ظروف مسی رایج شده است. در یونان زنگار را از تکه‌های مس یا برنز ریخته شده در یک ظرف معلق در یک ظرف دیگر (شکل ۱) که در آن سرکه بوده است با حرارت به دست می‌آورند (ذهبی، ۱۳۸۸، ۹۴).

¹ verdigris

² green of greece

³ Aeruginous



شکل ۱: طرح شماتیک: ۱- خرده‌های مس ۲- سرکه ۳- ظرف معلق ۴- درب بسته‌ی ظرف اصلی ۵- ظرف مهروموم شده‌ی اصلی (ذهبی، ۱۳۸۸، ۹۴)

رنگدانه‌های با پایه مس، در دوران سلسله چهارم پادشاهی مصر در ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد روی اشیای هنری استفاده می‌شد که به‌عنوان آبی مصری شناخته می‌شد. در ۱۳۰۰ قبل از میلاد، زنگار در دسترس هنرمندان قرار گرفت. زنگار از طریق قرارگیری مس در معرض بخار سرکه، شراب و ادرار به همراه افزودن مواد دیگر مانند NaCl، نمک‌های آمونیوم و عسل به وجود می‌آمد (Solomon et al, 2011). زنگار مس را برای نقاشی در پاپیروس استفاده می‌کردند. در سلسله‌ی هان (۲۰۰۰ پیش از میلاد تا ۲۰۰ میلاد) چین نیز زنگار مس، اغلب به‌عنوان اشاره‌ی تمثیلی تانگلو بکار می‌رفته است (ذهبی ۱۳۸۸، ۹۴). بر اساس دستورالعمل‌های قرون‌وسطی، نوارهای مسی روی قطعات چوبی پیچانده می‌شدند و سپس آن را دفن می‌کردند. اسید استیک تولیدشده به تدریج ورقه‌های مسی را خورده و رنگدانه تولید می‌شد. در قرن ۱۹ میلادی از واکنش دادن محلول سولفات مس با محلول‌های استات کلسیم، باریوم و سرب زنگار را به دست می‌آوردند در طی این واکنش سولفات کلسیم، باریوم یا سرب نامحلول ته‌نشین شده و استات مس در محلول باقی می‌ماند (Roy 1986, 132). دستورالعمل عمومی که در قرون-وسطی رایج بود بدین طریق انجام می‌شد که ابتدا نوارهای مس را در یک محفظه‌ی چوبی مهروموم شده که حاوی اسید استیک بود قرار داده و در پهن دفن می‌کردند. پس از چند هفته زنگار از سطح مس خراشیده می‌شد و این عمل بارها تکرار می‌شد (Kühn, 1970).

در اروپای غربی زنگار با ترکیب مس و سرکه به عمل می‌آمد اما در روسیه و صربستان از شیر ترشیده به‌جای سرکه استفاده می‌شده که در این حالت زنگارهای متنوعی حاصل می‌گشت (Banik, 1990). تحقیقات نشان می‌دهد که ترکیبات شیمیایی این رنگ مشابه بارنگ ملاکیت است (برکشلی ۱۳۸۴، ۱۸۷).

در فرانسه از تفاله‌های انگور برای ساخت زنگار استفاده می‌کردند (Peters 2009, 6). در مجاورت مونت‌پلییر در جنوب فرانسه به‌وسیله ترکیب صفحات مس و تفاله‌های میوه به‌صورت ستون‌بندی عمودی جهت فرایند تخمیر در مجاورت هم قرار می‌گرفتند. تحت تأثیر اسید استیک ایجادشده در طی این فرایند قشری از رنگ آبی و سبز-آبی بر روی مس تشکیل می‌گردید که آن را خراشیده و بکار می‌بردند (Kühn, 1970). در روشی دیگر تفاله‌های انگور را در داخل ظرفی بزرگ ریخته و درپوشی را بر روی آن قرار می‌دادند و چند روز صبر می‌کردند تا استات به‌طور کامل تخمیر شود. سپس مس را به‌صورت صفحه یا نوار تهیه‌کرده و در داخل ظرف به مدت ۱۸ تا ۲۰ روز غوطه‌ور می‌ساختند. این زمان با توجه به تغییرات آب و هوایی متفاوت است. در تابستان ممکن است به ۱۲ تا ۱۴ روز کاهش پیدا کند اما در زمستان به مدت‌زمان بیشتری نیاز است. بعد از به پایان رسیدن مدت‌زمان گفته‌شده تفاله‌های انگور را از ظرف برداشته و دور می‌ریختند و صفحه‌های مس را خشک کرده و در آب (یا در صورت امکان در شراب) غوطه‌ور ساخته و بار دیگر صفحات مس را خشک می‌کردند. بدین ترتیب در سطح مس یک‌لایه زنگار تشکیل می‌شده که آن را می‌تراشیدند. دوباره مس را غوطه‌ور ساخته و سپس خشک می‌کردند تا لایه‌ی زنگار دیگری بر روی مس ایجاد گردد. این عمل را آن‌قدر ادامه می‌دادند تا تمام فلز مس به زنگار تبدیل شود. زنگار تهیه‌شده را با آب شسته و سپس خشک می‌کردند که بعدازاین مرحله زنگار قابل استفاده می‌شد (Peters 2009, 6).

زنگار در انگلیس بدین‌صورت ساخته می‌شده که صفحات مسی را در بین پارچه‌هایی که در اسید pyroligneous (نوعی اسید که از تقطیر چوب به دست می‌آید) خیسانده می‌شدند قرار می‌دادند. این کار در یک ظرف خمیره‌ای انجام می‌گرفت. از هر ۴ یا ۵ روز در ظرف را باز کرده و دوباره پارچه‌ها را با اسید می‌خیساندند. این عمل تا زمانی که زنگار بر روی صفحات مس شروع به

تشکیل شدن کند، ادامه پیدا می‌کند. زمانی که زنگار سطح مس را پوشش داد فلز را بیرون آورده و در آب غوطه‌ور می‌ساختند. سپس آن را خشک کرده و زنگار را از روی مس می‌تراشیدند. دوباره مس را بین پارچه قرار داده و مراحل گفته‌شده را تکرار می‌کردند. این روند تا زمانی که تمامی فلز مس به زنگار تبدیل شود ادامه پیدا می‌کرد (Peters 2009, 6). در هند نیز با توجه به روش‌های قدیمی تهیه زنگار، این رنگدانه به‌وسیله عمل‌آوری مس همراه سرکه و قرار دادن آن در معرض هوا تهیه می‌شد (Bhowmik, 1970). هندی‌ها برای تهیه زنگار، نوشادر (کلرید آمونیوم) را در ظرفی ریخته و به‌اندازه‌ی نصف آن براده‌های مس به آن اضافه می‌کردند. سپس سرکه را قطره‌قطره اضافه کرده و با دسته‌ی چوبی سر پهن آن را هم می‌زدند تا زنگار به دست آید (برکشلی ۱۳۸۴، ۱۸۸).

نحوه‌ی ساخت زنگار با توجه به رساله‌های تاریخی در ایران

در متون کهن ایرانی روش‌های مختلفی برای ساخت زنگار گفته‌شده است. سه روش مهمی که وجود داشته و بدین طریق زنگار را تهیه می‌کردند در رسالات اشاره شده است. در رساله‌ی قانون‌الصور صادقی افشار، نحوه‌ی ساخت زنگار به‌صورت شعر بیان شده است:

«بگن چاهی دو گز در جای نمناک صفایح کن تَنک لیک از مس پاک
بریز از سرکه‌ی ناصاف چندان که گردد صفحه‌ها در سرکه پنهان
در آن چاهش بنه یک مه کم و بیش پیوشان از کم و بیشش میندیش
پس از یک ماه بنگر کان تمامی شود زنگار خاطر خواه نامی»

در این روش صفحات مسی را در داخل سرکه انداخته و در چاهی که نمناک بوده قرار می‌دادند و بعد از گذشت حدود یک ماه زنگار را به دست می‌آوردند. این روش در رساله‌ی گلزار صفای صیرفی نیز به همین ترتیب گفته‌شده است. در رساله‌ی جوهریه-ی سیمی نیشابوری، رساله‌ی مدادالخطوط میرعلی هروی و چند رساله‌ی دیگر نیز به این روش اشاره شده است:

«توفال مس را مقداری بستاند و در ظرفی کند و همان مقدار از سرکه کهنه به آب بیامیزد و در چاه آب آویزد و مدت چهل روز بگذارد. پس چون بیرون آرد زنگار شده باشد»

در روش دوم روند کار همانند روش اول هست. با این تفاوت که در این روش به‌جای سرکه از ماست گوسفندی استفاده می‌شده. این روش را میرعلی هروی در رساله‌ی مدادالخطو و سیمی نیشابوری در رساله‌ی جوهریه چنین آورده‌اند:

«خرده‌ی مس و سرکه‌ی کهنه‌ی انگور تند برابر یکدیگر به هم آمیخته در چاه آب آویزند تا چهل روز بر او بگذرد پس چون بیرون آورند زنگار باشد در نهایت خوبی و اگر به‌عوض سرکه آب ماست گوسفند کنند شاید و چون خواهند که آن را حل کنند و با آن کتابت کنند در کاسه‌ی چینی با آب و انزروت حل کرده به کار برند»

روش سوم مقداری متفاوت‌تر از روش‌های قبلی است. رساله‌های خط و سواد منسوب به مجنون رفیقی هروی و مدادالخطوط میرعلی هروی روش سوم را این‌گونه بیان کرده‌اند:

«یک رطل نوشادر و نیم رطل خرده مس در کاسه کن و آب سرکه‌ی انگوری در وی چکان و چوبی که سر او چون سم شتر باشد در آن کاسه صلایه می‌کنند تا وقتی که زنگار گردد» (قلیچ‌خانی ۱۳۷۳، ۱۲۱ و ۲۸۵ و ۲۶۱).

این روش در واقع همان روشی است که توسط ایران به هندی‌ها معرفی شده است. مجموعه‌الصنایع نیز هشت شیوه برای تهیه‌ی زنگار ارائه می‌کند که به شرح زیر است:

۱- زنگار سبز دمنی: با تعجب فراوان، به‌جای مس از نقره استفاده‌شده، همراه با نمک سفید.

۲- زنگار فرعونی: براده‌ی مس و شیره‌ی انگور سبز یا سرکه.

- ۳- زنگار ترسایبی: مس و نمک سفید.
 ۴- زنگار فریسه: مس و سرکه‌ی جوشیده.
 ۵- زنگار فیروزه‌ای: مس صحیفه‌ای، سرکه‌ی مقطر و نشادر.
 ۶- زنگار مصفا: زنگار فرعون‌ی و سرکه‌ی سفید مقطر. این زنگار از همه بهتر است و در ساخت رنگ فیروزه‌ای کاربرد دارد.
 ۷- زنگارهای دیگر: زنگار ترسایبی، مس، نشادر، سرکه با سرگین اسب پوشانده شود.
 ۸- زنگار خامسی: برنج دمشقی، عصاره‌ی نارنج تلخ، نشادر، جوشانده شده در ظرف آب (مجموعه‌الصنایع بی‌تا، ۸۱-۷۷).

روش‌های ارائه‌شده در مجموعه‌الصنایع جهت ساخت زنگار متفاوت‌تر از سایر رساله‌ها است؛ اما نکته‌ی مهمی که می‌شود بدان اشاره کرد؛ وجود فلز مس به‌عنوان عنصر اصلی در تهیه‌ی زنگار است. استفاده از سرکه نیز در بیشتر روش‌های ارائه‌شده به چشم می‌خورد. در واقع اساس تشکیل زنگار، واکنش بین فلز مس و سرکه است.

نحوه‌ی استفاده و حل کردن زنگار

در بیشتر مکتوبات تاریخی، نحوه‌ی حل کردن رنگدانه‌ها و چگونگی استفاده‌ی آن شرح داده‌شده است. با توجه به طریقه‌ی ساخت و استفاده‌ی رنگدانه‌ها در قدیم می‌توان به شناخت هنرمندان آن زمان نسبت به رنگ و خصوصیات رنگدانه‌ها پی برد. جیش تفلیسی در رساله‌ی بیان‌الصناعات در ترکیب کردن رنگ زنگار به روش زیر اشاره می‌کند:

«زنگار را سرکه در وی کند و چون سرمه بساید و آب صمغ عربی با وی بیامیزد و لختی آب زعفران با وی بیامیزد تا روشن گردد و روان شود؛ و اگر خواهد که سبز نیکو کند آب زعفران بر وی افزاید بدان مقدار که رنگ او خواهد». درجایی دیگر نیز به نحوه‌ی تهیه‌ی زنگار سپید اشاره کرده است:

«اگر زنگار سپید خواهی لختی سپیداب با زنگار بیامیزد و به آب صمغ عربی وی را حل کند تا سخت نیک و پاکیزه آید» (قلیچ‌خانی ۱۳۷۳، ۱۲۵ و ۱۲۶).

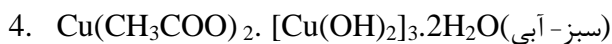
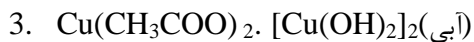
بر این اساس هنرمند بعد از تهیه‌ی زنگار به روش‌هایی که اشاره شد، ابتدا باید زنگار را با سرکه ترکیب کرده و سپس صمغ به آن اضافه کند. هنرمندان قدیم زنگار را خوب می‌شناختند و نحوه‌ی استفاده‌ی آن را می‌دانستند. در بیشتر روش‌های ارائه‌شده به نقش زعفران اشاره شده است؛ و آن را به‌عنوان یک بازدارنده‌ی تخریب زنگار معرفی کرده‌اند. احتمالاً دسترسی به نقش زعفران در جلوگیری از تخریب زنگار به‌طور تجربی حاصل شده است. چراکه زنگار را جهت ساخت رنگ روشن‌تر و یا به‌اصطلاح هنرمندان قدیم «رنگ فستقی» به زنگار می‌افزودند؛ و بدین ترتیب به نقش زعفران پی برده‌اند؛ و همین امر باعث گردیده تا بیشتر مینیاتورها و یا اسناد تاریخی که در آن زنگار بکار رفته تاکنون سالم بماند.

زنگار تولیدشده به‌صورت ترکیب با تربانتین نیز در گذشته مورد استفاده بوده است. در صورت ترکیب زنگار با تربانتین نوعی سبز مس شفاف به دست می‌آید؛ که این نوع رنگ در نسخ مذهب سده‌های ۸ و ۹ میلادی کاربرد داشته است. سبز مس شفاف را می‌توان با تربانتین رقیق نمود، یا پودر خشک آن را با صمغ یا سفیده‌ی تخم‌مرغ مخلوط نموده، یا به‌صورت امولسیون آن را با سفیده‌ی تخم‌مرغ بکار برد. در رساله‌های خیلی قدیمی به این اشاره نشده و قدیمی‌ترین منبع متعلق به سده‌ی ۱۷ میلادی است. این رنگ در نقاشی‌ها نیز کاربرد داشته است (جتتنز و استات ۱۳۷۸، ۱۷۱ و ۱۷۲).

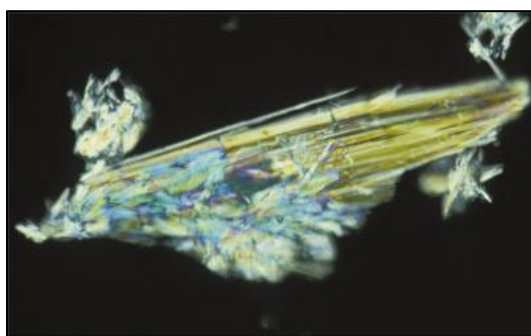
ترکیب شیمیایی و خواص زنگار

انواع مختلف زنگار را در حالت کلی می‌توان به دودسته زنگار بازی و زنگار خنثی تقسیم کرد. زنگار بازی از واکنش فلز مس با بخارات اسید استیک و آب در مجاورت هوا تشکیل می‌شود. زنگار بازی دارای فرمول‌های زیر است:

1. $[\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})]_2 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (آبی)
2. $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (آبی روشن)

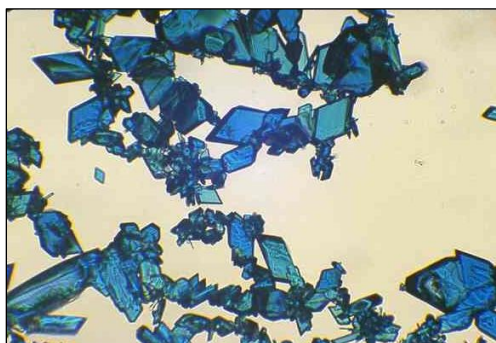


زنگار بازی می‌تواند یکی از ترکیبات مذکور به‌تنهایی باشد و یا مخلوطی از ۱ و ۲ یا ۲ و ۴ باشد؛ اما استات نوع سوم فقط به-تنهایی می‌تواند وجود داشته باشد چراکه بر اساس دیاگرام فازی به‌صورت مخلوط با سایر استات‌ها ناپایدار است. زنگار بازی در آب سرد مقداری محلول بوده اما در آب داغ تخریب‌شده و به رنگ قهوه‌ای درمی‌آید (Roy 1986, 133). ذرات این رنگدانه چنانچه خوب بلوری شوند به شکل سوزن‌های نوک‌تیز درمی‌آیند (شکل ۲). در اسیدها به‌سرعت حل‌شده و چنانچه حرارت داده شود تجزیه می‌شود، اسید استیک و آب آزاد می‌کند و ته‌مانده‌ای سیاه‌رنگ (CuO) بر جای می‌گذارد (جتتنز و استات ۱۳۷۸، ۱۷۰).



شکل ۲: کریستال‌های سوزنی شکل زنگار بازی با بزرگنمایی $\times 120$ (Chiari and Scott 2004)

زنگار خنثی که به آن *verde eterno* نیز گفته می‌شود، زمانی تشکیل می‌شود که استات‌های بازی مس در اسید استیک حل شوند (کریستاله شوند). فرمول شیمیایی این نوع زنگار $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ هست. زنگار خنثی در آب کاملاً حل می‌شود و اگر محلول جوشانده شود تجزیه می‌گردد. در زیر میکروسکوپ به‌صورت کریستال‌های آبی-سبز لوزی شکل و شش‌گوش دیده می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳: کریستال‌های زنگار خنثی با بزرگنمایی $\times 20$ (Carison 1997)

زنگار در اسیدهای معدنی رقیق محلول بوده و با ترکیبات قلیایی تولید هیدروکسیدهای آبی مس می‌کند. این رنگدانه با روغن-ها، رزین‌ها و پروتئین‌ها واکنش داده و ایجاد اولئات، رزینات و پروتئینات می‌کند و به همین دلیل با بست نقاشی‌ها واکنش می‌دهد. در بسیاری از موارد همراه با سفید سرب و زرد قلع-سرب بکار برده شده و همچنین به‌عنوان یک خشک‌کننده در بست‌های روغنی مورد استفاده قرار گرفته است. محدوده‌ی رنگی زنگار از سبز و سبز-آبی تا آبی است. مقدار تغییر رنگ و حداکثر بازتاب زنگار در نقاشی‌ها به بست استفاده‌شده در آن بستگی دارد.

روند تخریب کاغذ به وسیله زنگار

زنگار یکی از رنگدانه‌های سبز تاریخی است. این رنگدانه با وجود اینکه شدیداً ناپایدار هست، کاربرد گسترده‌ای در گذشته داشته است. زنگار باعث ایجاد آسیب در کاغذ شده و نحوه تخریب آن همانند روند تخریبی است که به وسیله جوهر فلزی مازویی به وجود می‌آید (Mairinger et al 1980, 181). آثار کاغذی توسط رنگدانه‌های حاوی یون مس تهدید می‌شوند. آزاد شدن یون مس از رنگدانه منجر به تسریع تخریب سلولز شده و موجب تغییرات رنگی و شکنندگی کاغذ می‌گردد (Ahn, 2014). آسیب-رسان بودن زنگار در بین کتابدارها و مجموعه‌داران امری معمول بوده و هنوز این مشکل حل نشده است. تخریب کاغذ توسط زنگار، در چهار مرحله ایجاد می‌شود:

(۱) رنگ از سبز زمردی به سبز زیتونی و قهوه‌ای تغییر می‌کند.

(۲) رنگ سبز به بافت کاغذ نفوذ می‌کند.

(۳) تخریب رنگدانه همراه با ایجاد لکه در پشت کاغذ بوده و بر اسناد و برگه‌های مجاور تأثیر می‌گذارد.

(۴) کاغذ به شدت شکننده شده و در اثر تا کردن و یا دست زدن خرد می‌شود (Carison, 1997)

در واقع روند تخریب کاغذ به وسیله زنگار بدین ترتیب است که در مرحله‌ی شروع تخریب، رنگ سبز به ساپورت کاغذی خود نفوذ می‌کند (شکل ۴). سپس رنگ کاغذ به قهوه‌ای تغییر می‌کند. این تغییر رنگ و قهوه‌ای شدن کاغذ در نقاطی که رنگ سبز زنگار استفاده شده ایجاد می‌گردد؛ اما به صورت یک هاله شروع به پخش شدن کرده و سطح وسیعی از کاغذ را در برمی‌گیرد. در ادامه‌ی این روند رنگدانه رفته‌رفته کاهش یافته و به صورت قهوه‌ای شدن کاغذ گسترش یافته و بعد از مدتی رنگدانه به طور کامل محو می‌شود. با گذشت زمان کاغذ شکننده شده و سپس سوراخ‌هایی در آن ایجاد می‌گردد که در نهایت منجر به خرد شدن کاغذ می‌شود (Mairinger et al, 1980, 181). مشاهدات میکروسکوپی در نقاشی‌های تاریخی که در آن رنگدانه‌ی زنگار به کار گرفته شده است، نشان داده که در نواحی به کار برده شده رنگ مایل به قهوه‌ای ایجاد گردیده که این امر نشانگر مرحله‌ی تخریب زنگار است (Cutts et al, 2010).



شکل ۴: نفوذ رنگ زنگار به تکیه‌گاه کاغذی



شکل ۵: قهوه‌ای شدن کاغذ توسط زنگار و گسترش آن در صفحات مجاور (Carison 1997)



شکل ۶: شکننده شدن کاغذ به وسیله‌ی تخریب زنگار (Carison 1997)

افزایش تخریب تکیه‌گاه کاغذی با افزایش مس در الیاف همراه است. با تشکیل حفره‌هایی در رنگدانه و نفوذ رنگدانه به داخل الیاف کاغذ یون‌های مس در قسمت لومن الیاف سلولز وارد شده و تا حدود ۱۰-۸ درصد وزنی غلظت می‌یابد و باعث تخریب کاغذ می‌شود (نعیمی ۱۳۸۵، ۲۶۵).

نتیجه‌گیری

با توجه به رسالات تاریخی و شیوه‌های تولید زنگار مشخص می‌شود که زنگار در بیشتر مناطق شناخته‌شده بوده و مورد استفاده قرار می‌گرفته. روش‌های تولید زنگار در مناطق مختلف تفاوت زیادی نداشته و همگی بر اساس واکنش بین مس و سرکه و یا به عبارتی دیگر واکنش بین فلز مس با اسیدهای ضعیف استوارند. شیوه‌های متفاوت ساخت زنگار باعث ایجاد ترکیبات متفاوت شده است. زنگار جزو رنگدانه‌های بسیار فعال و ناپایدار بوده و باعث تخریب تکیه‌گاه‌های کاغذی می‌شود.

منابع

- برکشلی، ماندانا، رنگ سبز زنگار و مراحل تخریب آن در مکتوبات مذهب، مجله اثر، شماره‌ی ۲۸، (۱۳۷۶)، صفحات (۱۵۵-۱۴۸)، دسترسی در تاریخ ۱۳۹۱/۷/۵ به آدرس اینترنتی:
- <http://ensani.ir/fa/content/220856/default.aspx>
- برکشلی، ماندانا، زعفران عامل ثبات «سبز زنگار» در نگاره‌های ایرانی، آینه‌ی میراث، سال سوم، دوره‌ی جدید، (۱۳۸۴)، صفحات (۲۱۶-۱۸۵).
- جتتندر، رادرفورد ج، و جورج ال استات، فرهنگ فشرده‌ی رنگدانه‌های هنری، مترجم: حمید فرهمند بروجنی، با همکاری حمیدرضا بخشنده فرد، نشر: فرهمند بروجنی، اصفهان، (۱۳۷۸).
- ذهبی، حسین، بررسی تخریب شیمیایی سه رنگدانه؛ اخرا، زنگار و سفیدآب‌شیخ در تزیینات معماری، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مرمت اشیای تاریخی و فرهنگی، دانشکده‌ی مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، چاپ‌نشده، (۱۳۸۸).
- قلیچ خانی، حمیدرضا، رسالاتی در خوشنویسی و هنرهای وابسته، انتشارات روزنه، اصفهان، (۱۳۷۳).
- مجموعه‌الصنایع، ۹۹۰ هجری قمری، شماره‌ی ثبت: ۳۱۰۲۳، کتابخانه‌ی مجلس شورای ملی.

- نعیمی، پرستو، بررسی روند تخریب رنگدانه‌های سبز - آبی مس در کتب شاهنامه و قرآن‌های موزه‌ی رضا عباسی، مجموعه مقالات ششمین همایش حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی - فرهنگی و تزیینات وابسته به معماری ۲۷-۲۹ مهرماه ۱۳۸۲، (۱۳۸۵)، صفحات (۲۶۱-۲۷۷).
- یاجم، افسانه، بررسی مواد اسید زدای رایج بر روی چند ماده‌ی رنگی با نگاهی بر مواد رنگی به کاررفته در هنر کتاب- آرایه‌ی دوره‌ی صفوی، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مرمت اشیای تاریخی و فرهنگی، دانشکده‌ی مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، چاپ‌نشده، (۱۳۸۵).
- Ahn, K., Hartl, A., Hofmann, C., Henniges, U., & Potthast, A. (2014). Investigation of the stabilization of verdigris-containing rag paper by wet chemical treatments. *Heritage Science*, 2(1), 1.
- Banik, G. (1990). Copper pigments and their alteration in manuscripts or works of graphic art. *Pigments et colorants de l'antiquite et du moyen age*. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Bhowmik, S. K. (1970). A note on the use and deterioration of verdigris in Indian watercolour painting. *Studies in Conservation*, 15(2), 154-156.
- Carlson, L. (1997). An interim treatment for paper degraded by verdigris, *The book and paper group Annual*, Vol16,
- Chiari, G., & Scott, D. (2004). Pigment analysis: potentialities and problems. *Periodico di mineralogia*, 73(3), 227-237.
- Cutts, H., Harrison, L., Higgitt, C., & Cruickshank, P. (2010). The image revealed: study and conservation of a mid-nineteenth-century Ethiopian church painting. *British Museum Technical Research Bulletin*, 4, 1-17.
- De la Roja, J. M., Baonza, V. G., & San Andrés, M. (2007). Application of Raman microscopy to the characterization of different verdigris variants obtained using recipes from old treatises. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 68(4), 1120-1125.
<http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v16/bp16-01.html>
(accessed November 2,2012)
- Kühn, H. (1970). Verdigris and copper resinate. *Studies in Conservation*, 15(1), 12-36.
- Mairinger, F., Banik, G., Stachelberger, H., Vendl, A., & Ponahlo, J. (1980). The destruction of paper by green copper pigments, demonstrated by a sample of Chinese wallpaper. *Studies in Conservation*, 25(sup1), 180-185.
- Peters. G, Dyes, (2009) Pigments, and Paints, chem101lab.
<http://www.cwu.edu/~petersj/chem101sp09/dyes%20pigments%20paints.pdf>
(accessed November 2,2012)
- Roy, A. (1993). Artists' pigments. A handbook of their history and characteristics, 2. *National Gallery of Art, Washington, DC*.
- Solomon, S. D., Rutkowsky, S. A., Mahon, M. L., & Halpern, E. M. (2011). Synthesis of copper pigments, Malachite and Verdigris: making tempera paint. *Journal of Chemical Education*, 88(12), 1694-1697.