

## بررسی تأثیر افزودنی آفسنتین بر ثبات رنگ مرکب آهن-مازو

اعظم رضانی چرمینه<sup>۱</sup>، مهرناز آزادی بویاغچی<sup>۲\*</sup>، بهزاد ذوالفقاری<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد، گروه مرمت اشیاء، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۱۷۴۴

۲- استادیار، گروه مرمت اشیاء، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۱۷۴۴

۳- استاد، گروه فارماکونوزی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۱۷۴۶-۷۳۴۴۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰

### چکیده

مرکب آهن-مازو یکی از انواع مرکب‌های به کار رفته در گذشته است که از چهار جز اصلی مازو، زاج، صمغ عربی و آب تشکیل شده است و به دلیل ناپایداری شیمیایی، با گذر زمان دچار تغییر رنگ می‌شود. آنچه در این پژوهش مورد کنکاش قرار می‌گیرد بررسی تأثیر عصاره آفسنتین و همچنین نسبت مازو به زاج مورد استفاده در ساخت مرکب بر پایداری رنگ مرکب آهن-مازو به استناد منابع قدیم و مطالعات آزمایشگاهی است. در این پژوهش پس از ساخت دو نوع مرکب مشکی با استفاده از منابع کهن، نمونه‌ها تحت پیرسازی نوری و دما-رطوبت قرار گرفت و پس از بررسی با استفاده از آزمون‌های تعیین میزان اسیدیته و رنگ‌سنجی، مشخص شد که افزودن عصاره گیاه آرتمیسیا آفسنتینوم به مرکب آهن-مازو سبب پایداری رنگ آن می‌شود و نسبت مازو به زاج نیز عامل مهمی در این پایداری به شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: عصاره، آفسنتین، پایداری، مرکب آهن-مازو.

## Investigating the Impact of Absinthium Additive on Stabilization of Color of Iron-Gall Ink

A. Ramezani Charminah<sup>1</sup>, M. Azadi Boyaghchi<sup>2\*</sup>, B. Zolfaghari<sup>2</sup>

1- Faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan, P. O. Box: 1744, Isfahan, Iran

2- Pharmacognosy Department, College of Pharmacy, Isfahan University of Medical Sciences, P. O. Box: 81746-73441, Isfahan, Iran

Received: 29-11-2018

Accepted: 22-04-2019

Available online: 10-03-2020

### Abstract

Iron-gall ink is one of the varieties of inks used in the past that consists of four main components of gall nut, vitriol, gum arabic and water and due to chemical instability changes color over time. The present study tried to investigate the impact of the extract of absinthium, as well as the ratio of gall to the alum used in the manufacture of ink on stabilization of the color of iron-gall ink based on old references and through laboratory studies. In this study, after making two types of black ink using old sources, the samples were exposed to light and temperature-humidity aging and after examination by using acidity and colorimetric tests, it was determined that adding extracts of *Artemisia absinthium* to iron-gall ink can stabilize its color, and the ratio of gall to alum is also an important factor in this sustainability. *J. Color Sci. Tech.* 13(2020), 277-291©. Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Extract, *Artemisia absinthium*, Stabilization, Iron-gall ink.

## ۱- مقدمه

مرکب آهن-مازو از مرکب‌های قدیمی به کار رفته در نگارش و طراحی است که برای اولین بار در قرن چهارم میلادی به کار گرفته شد. این مرکب از چهار جز اصلی مازو، زاج، صمغ عربی و آب تشکیل شده است [۱، ۲]. تشکیل رنگ مرکب شامل یک فرآیند شیمیایی دومرحله‌ای است. در مرحله اول از واکنش سولفات آهن (II) (تهیه شده از زاج سبز) با اجزا فعال تانن (اسید گالیک یا اسید تانیک) که از آبکافت تانن‌های استخراج شده از مازو به دست می‌آید، نمک فروس گالات شکل می‌گیرد که بی‌رنگ و محلول در آب است. علاوه بر این، اسید سولفوریک نیز تولید می‌شود که در مرکب باقی می‌ماند. مرحله دوم، اکسایش است که کمپلکس فروس گالات با اکسیژن هوا واکنش داده و به فریک پیروگالات تبدیل می‌شود که بنفش مایل به سیاه و نامحلول در آب است [۳-۵]. مرکب آهن-مازو هنگامی که بر روی تکیه‌گاه (محمل) کاغذی خود قرار می‌گیرد با گذر زمان به دلیل ناپایداری شیمیایی دچار تغییر رنگ شده [۶] و این تغییر رنگ به شکل لکه‌های قهوه‌ای در زیر و اطراف خطوط مرکب مشاهده می‌شود [۱]. تاکنون تحقیقات جدی درباره تأثیر افزودنی‌های گیاهی بر ثبات رنگ مرکب آهن-مازو انجام نشده و در مطالعات انجام شده در دنیا بیشتر به مبحث خوردگی کاغذ در آثار کاغذی که با مرکب آهن-مازو نگارش یافته‌اند، پرداخته شده است. در پژوهشی با استفاده از آزمون‌های دستگاهی مثل طیف‌سنجی تبدیل فوریه - زیر قرمز به شناسایی ساختار شیمیایی مرکب‌های نسخ قدیمی پرداخته شده است و همچنین با نمونه‌سازی، تأثیر افزودنی زعفران در جلوگیری از خوردگی کاغذ به وسیله مرکب آهن-مازو مورد بررسی قرار گرفته است [۷]. در ایران نیز سلطانی و همکارانش در مقاله‌ای به این نتیجه رسیدند که با توجه به این که محلول زعفران به عنوان یک بافر عمل می‌کند و با بالا رفتن غلظت، اثر بافری آن نیز افزایش می‌یابد؛ افزودن زعفران به مرکب از خوردگی کاغذ ناشی از مرکب آهن-مازو در طول زمان جلوگیری به عمل می‌آورد [۸]. در مواردی که ذکر شد تنها تأثیر ماده افزودنی بر خوردگی کاغذ مورد توجه قرار گرفته است و پژوهشی در رابطه با تأثیر افزودنی‌ها بر مرکب صورت نگرفته است. در گذشته افزودنی‌هایی مثل نیل، بقم، زعفران، پوست انار، میخک و سرکه را برای اصلاح ساختار، رنگ یا افزایش روانی مرکب به آن اضافه می‌کرده‌اند [۹]، همچنین در کتاب مخزن الأدویه ذکر شده که افزودن آب گیاه آفسنتین پخته شده به مرکب مانع تغییر رنگ آن است، به همین دلیل انجام آزمایش‌های لازم جهت شناسایی توانایی عصاره گیاه آفسنتین در پایداری رنگ مرکب آهن-مازو در این تحقیق ضروری به نظر رسید و امکان استفاده از آن در حوزه حفاظت از آثار کاغذی مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- بخش تجربی

## ۲-۱- مواد

برای تهیه عصاره آفسنتین ابتدا گیاه آرتیمیزیا آبسینتیوم مورد نیاز به صورت خشک شده از شرکت داروسازی باریج اسانس کاشان تهیه گردید. سپس عصاره‌گیری<sup>۱</sup> به روش جوشاندن با آب<sup>۲</sup> انجام شد. بدین صورت که به ۱۰ گرم از گیاه پودر شده، ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه کرده و بعد از یک ساعت خیس خوردن، به مدت ۴۰ دقیقه بر روی حرارت ملایم قرار داده تا به آرامی بجوشد. پس از سرد شدن، مخلوط از صافی عبور داده شد و تفاله‌های حاصل از آن برای مرتبه دوم با همان مقدار آب مقطر (۴۰ میلی‌لیتر) به مدت ۲۵ دقیقه دیگر جوشانده شد و در نهایت بعد از صاف کردن، با محلول به دست آمده از مرحله قبل ترکیب شده و مورد استفاده قرار گرفت [۱۰]. در ادامه در دو ظرف جداگانه نیز مقدار ۹۰ و ۳۰ گرم مازوی خرد شده در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر جوشانده شده به مدت سه شبانه روز به صورت روباز در مجاورت هوا قرار داده شد، تا عصاره آن کاملاً خارج شود و اسید گالیک کافی به دست آید. سپس بر روی حرارت ملایم قرار داده تا تخمیر سریع‌تر انجام شود. در حین پخته شدن مازو پرده‌ای بر روی آن بسته می‌شود که «کلاش» نام دارد. این پرده از لطافت مرکب می‌کاهد، به همین دلیل در هنگام پخت مازو آن را برداشته تا زمانی که دیگر بسته نشود [۱۲]. برای استفاده از صمغ عربی در مرکب بر طبق دستورالعمل، مقدار ۴۵ گرم صمغ عربی را در مقدار کمی از آب روی حرارت (مخلوط آب و مازوی پخته شده) حل کرده تا غلظت آن به اندازهٔ عسل درآید. با توجه به این که آب‌های سنگین مثل آب اصفهان باعث رسوب زاج می‌گردد و قدرت دندان را کاهش می‌دهد [۱۳]، برای ساخت نمونه‌ها از آب مقطری که به مدت ۲۰ دقیقه جوشانده شده بود استفاده شد تا شرایط برای رشد عوامل زیستی در مرکب به حداقل برسد. در این پژوهش هیچ عملیات حرارتی بر روی زاج انجام نشد تا توانایی واکنش آن با اسید گالیک حاصل از مازو تغییری نکند. همچنین از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲، تهیه شده از الیاف سلولز خالص دارای وزن پایه ۱۰۰ g/m<sup>2</sup> برای تهیه نمونه‌های مطالعاتی استفاده شد.

## ۲-۲- روش کار

برای ساخت نمونه‌ها از دستور ساخت مرکبی که در کتاب "عمده الکتاب" ابن بادیس بیان شده است استفاده شد. علت انتخاب این دستورالعمل جامع بودن آن از لحاظ مواد به کار گرفته شده در آن است.

دستور آن بدین شرح است: «۳ اوقیه<sup>۱</sup> مازو، ۱ اوقیه زاج سبز و

1- Extraction

2- Water Decoction

جهت ساخت نمونه‌های مطالعاتی، کاغذهای برش خورده (۳×۵ سانتی‌متر) به مدت ۱۰ ثانیه در محلول مرکب غوطه‌ور شد و بعد از آن بین دو کاغذ خشک‌کن<sup>۲</sup> تحت فشار و در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید [۱۶-۱۴].

### ۲-۲-۲-۲-آزمون‌ها

به منظور بررسی تأثیر گیاه آفسنتین بر رنگ مرکب آهن-مازو، لازم است تا ترکیبات مهم و تأثیرگذار موجود در گیاه شناخته شود و به این طریق، گامی مؤثر در راستای تحلیل درست و علمی از نتایج آزمایش‌های انجام شده برداشته شود. از این رو آزمایش شناسایی دسته ترکیبات گیاه آفسنتین در دانشکده داروسازی دانشگاه اصفهان انجام شد.

۱- اوقیه وزنی معادل هفت مثقال است [۱۱].

2- Blotting paper

۱,۵ اوقیه صمغ عربی فراهم آورید. مازو را خرد کرده و در ۸ برابر وزن آن، آب شیرین به مدت یک شبانه روز یا بیشتر قرار دهید. هر چه این مدت زمان بیشتر باشد بهتر است. بعد روی آتش ملایم به مدت یک شب قرار دهید تا وقتی که مقدار آب آن به یک سوم کاهش یابد. نشانه خوب پخته شدن مازو این است که وقتی با دست فشار داده شود، از هم پاشیده و له شود. سپس صمغ را در مقدار کمی از آب روی حرارت حل کنید، مقدار آب باید در حدی باشد که غلظت آن به اندازه عسل درآید. به همان اندازه که زاج به مواد روی حرارت اضافه گردید، صمغ حل شده نیز افزوده شود و سپس از روی حرارت برداشته شود».

### ۲-۲-۱- نمونه‌سازی

نمونه‌ها تحت عنوان گروه A و B نامگذاری شدند. برای ساخت مرکب آهن-مازو مقادیر مورد نظر به گرم تبدیل و نمونه‌ها ساخته شد (جدول ۱). مرکب‌های ساخته شده در ده گروه تقسیم‌بندی شد تا تأثیر عصاره آفسنتین بر ثبات رنگ مرکب‌ها مورد آزمایش قرار گیرد (جدول ۲).

جدول ۱: اجزا مرکب‌ها در گروه A و B.

نام مرکب	نسبت مازو به زاج	مازو (گرم)	زاج سبز (گرم)	صمغ عربی (گرم)	آب مقطر (گرم)
A	۱:۳	۹۰	۳۰	۴۵	۷۲۰
B	۱:۱	۳۰	۳۰	۴۵	۷۲۰

جدول ۲: حجم عصاره و مرکب مورد استفاده در گروه A و B.

نمونه‌ها	مرکب (میلی‌لیتر)	عصاره آفسنتین (میلی‌لیتر)	حجم عصاره به حجم مرکب (درصد)
۱ (شاهد)	۲۰	-	-
۲	۲۰	۱	۵
۳	۲۰	۲	۱۰
۴	۲۰	۳	۱۵
۵	۲۰	۴	۲۰
۶	۲۰	۵	۲۵
۷	۲۰	۶	۳۰
۸	۲۰	۷	۳۵
۹	۲۰	۸	۴۰
۱۰	۲۰	۹	۴۵

$$\Delta L^* = L_2 - L_1, \Delta a^* = a_2 - a_1, \Delta b^* = b_2 - b_1$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

از طرفی با توجه به این که در آثار نگارش شده با مرکب آهن-مازو واکنش‌های شیمیایی عامل تخریب و در نتیجه تغییر رنگ می‌باشند، بایستی تأثیر مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر سرعت این واکنش‌ها یعنی دما و رطوبت نیز مورد بررسی قرار گیرد. به همین دلیل برای مشاهده تأثیرات طولانی مدت دما و رطوبت بر رنگ مرکب، پیرسازی تسریعی طبق استاندارد ISO-9706، به مدت ۴۵۷ ساعت در دستگاه آون ساخت شرکت میمرتف در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۸۰٪ صورت گرفت تا تغییرات ایجاد شده پس از انجام این آزمون با نمونه‌های قبل از پیرسازی مقایسه گردد. به منظور بررسی تغییرات رنگی نمونه‌ها از دستگاه "رنگ‌سنج" استفاده شد. به این ترتیب که قبل و بعد از پیرسازی شش نقطه از هر نمونه رنگ‌سنجی شد و میانگین آنها به عنوان مقادیر نهایی ثبت گردید. در میان عوامل تخریب کاغذ، تخریب شیمیایی مهم‌ترین عامل بوده و این تخریب در شرایط محیطی معمولاً از طریق آبکافت اسیدی پیش می‌رود. به همین دلیل اسیدی شدن کاغذ، اولین نشانه تخریب شیمیایی است و اندازه‌گیری pH اولین و ساده‌ترین راه بررسی این تخریب است. میزان اسیدی بودن<sup>۱</sup> نمونه‌های کاغذی، با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتال مدل ۷۴۴ ساخت شرکت METROHM بررسی شد. تغییرات اسیدی بودن در نمونه‌های کاغذی قبل و بعد از پیرسازی دما-رطوبت، براساس استاندارد TAPPI T 529-om99 در دمای  $25 \pm 0.5$  مورد ارزیابی قرار گرفت. به طور قطع مقدار pH مرکب بر روی کاغذهای نمونه بیشتر از مقدار pH مرکب مایع است؛ زیرا pH نمونه کاغذ مورد استفاده (واتمن ۴۲)، برابر با ۶.۶۰ است. لازم به ذکر است که مقادیر نهایی نیز حاصل میانگینی از سه بار اندازه‌گیری است.

### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- شناسایی دسته ترکیبات گیاه آفسنتین

نتایج آزمایش شناسایی دسته ترکیبات نشان داد که گیاه آفسنتین دارای تانن<sup>۲</sup>، فلاونوئید<sup>۳</sup> و آلکالوئید<sup>۴</sup> است (جدول ۳). با توجه به این که مواد رنگزای طبیعی در دسته‌های تانن‌ها، فلاونوئیدها، ترپنوئیدها<sup>۵</sup>، نفتوکوئینون‌ها<sup>۱</sup>، آنتراکوئینون‌ها<sup>۲</sup> و آلکالوئیدها طبقه‌بندی می‌شوند [۱۸]، پس گیاه آفسنتین در دسته گیاهان

سپس نمونه‌های کاغذی آغشته به مرکب تحت آزمون رنگ‌سنجی قرار گرفتند تا تأثیر عصاره آفسنتین بر رنگ مرکب مشخص شود. با توجه به این که بسیاری از آزمایش‌ها بر روی آثار کاغذی تاریخی قابل اجرا نیست، استفاده از انواع روش‌های پیرسازی تسریع شده با تهیه نمونه‌های استاندارد و از پیش آماده شده در زمینه‌های مختلف تحقیقات حفاظت و مرمت می‌تواند راه‌گشا باشد. در پیرسازی تسریع شده، کاغذ و مرکب در شرایطی قرار می‌گیرند که روند آسیب‌رسانی افزایش یافته و سطح بالاتری از انرژی را در زمان بسیار کوتاه‌تری دریافت می‌کنند. دریافت انرژی زیاد در زمانی کوتاه باعث تقویت فرآیندهایی می‌شود که به کیفیت کاغذ و مرکب آسیب می‌رسانند. از جمله این فرآیندها می‌توان به هیدرولیز و اکسایش کاغذ اشاره کرد. به طور طبیعی با قرار گرفتن آثار کاغذی در معرض عوامل مضر مختلف، شرایط فرآیندهایی مانند آبکافت و اکسایش در آنها پدید می‌آید. از جمله این عوامل مضر دما، رطوبت، نور (تشنشات مضر)، عوامل زیستی و آلاینده‌های محیطی می‌باشند که در دراز مدت شرایط لازم برای فرسایش و تخریب کاغذ را پدید می‌آورند. با استفاده از روش پیرسازی تسریع شده می‌توان در زمان کوتاه‌تری به این تخریب‌ها دست یافت و اثر آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. به همین دلیل برای بررسی تأثیرات نور (فرابنفش) بر روی نمونه‌ها (بررسی میزان رنگ پدیدگی هر یک از نمونه‌ها)، پیرسازی تسریع شده طبق استاندارد IS 1221:1991، به مدت ۱۴۴ ساعت و در فاصله ۲۵ سانتی‌متری لامپ بلک لایت آبی فلورسنت ۳۰ وات با طول موج ۳۵۶ نانومتر انجام شد. تغییر رنگ در نمونه‌های کاغذی نیز، قبل و بعد از پیرسازی با استفاده از دستگاه "رنگ‌سنج" مدل Color Tector Alpha<sup>®</sup> ساخت شرکت Salu Tron Messtechnik GmbH و براساس استاندارد TAPPI 452 om-08، مورد سنجش قرار گرفت. به این ترتیب که قبل و بعد از پیرسازی شش نقطه از هر نمونه رنگ‌سنجی شد. قابل ذکر است که مقادیر نهایی حاصل میانگینی از شش بار اندازه‌گیری است. معمولاً رنگ در سیستم  $L^*a^*b$  اندازه‌گیری می‌شود. مدل  $L^*a^*b$  بر اساس مدل رنگ پایه، به وسیله کمیسیون بین‌المللی روشنایی<sup>۳</sup> (CIE) در سال ۱۹۳۱ به عنوان استاندارد بین‌المللی برای اندازه‌گیری رنگ مطرح شد. در سال ۱۹۷۶ مورد بازبینی قرار گرفت و مدل اصلاح شده آن CIE  $L^*a^*b$  نامیده شد. در این مدل، رنگ‌ها با سه پارامتر میزان درخشندگی (L)، میزان رنگ از سبز به قرمز (a) و میزان رنگ از آبی به زرد (b) مشخص می‌شوند. اختلاف بین مقادیر  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  با  $\Delta E$  نشان داده می‌شود (رابطه ۱) که تغییرات کلی رنگ در نتیجه تأثیر نور، دما و رطوبت را نشان می‌دهد. در این رابطه  $L_1$ ،  $a_1$  و  $b_1$  مقادیر به دست آمده قبل از پیرسازی و  $L_2$ ،  $a_2$  و  $b_2$  مقادیر به دست آمده بعد از پیرسازی است [۱۷].

- 1- Acidity
- 2-Tannin
- 3- Flavonoid
- 4- Alkaloid
- 5- Terpenoid

نمونه‌های حاوی عصاره (به جز مرکب A<sub>8</sub>) نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که افزودن عصاره آفسنتین به مرکب باعث روشن تر شدن فام آن شده است، که این امر با توجه به رنگ‌دهنده بودن گیاه آفسنتین دور از انتظار نیست. ولی روند صعودی یا نزولی خاصی در مقایسه با حجم عصاره مورد استفاده، مشاهده نشد. به طوری که افزودن ۵٪ عصاره بیشترین میزان درخشندگی و افزودن ۳۵٪ عصاره کم‌ترین میزان درخشندگی را به همراه داشت.

رنگ‌دهنده قرار دارد و اضافه کردن آن به مرکب سبب تغییر در فام مرکب می‌شود.

### ۳-۲- تأثیر گیاه آفسنتین بر فام مرکب آهن-مازو

به منظور بررسی تأثیر عصاره آفسنتین بر رنگ مرکب آهن-مازو، آزمون رنگ‌سنجی بر روی نمونه‌های کاغذ آغشته به مرکب انجام گرفت. سپس مشخصه‌های میزان روشنایی (L)، مقدار محور سبز-قرمز (a\*) و مقدار محور آبی-زرد (b\*) مرکب‌های حاوی عصاره با مرکب شاهد (بدون عصاره) مقایسه شد.

- 1- Naphthoquinone  
2 - Anthraquinone

### گروه A

بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۴)، میزان شاخص L در

جدول ۳: نتیجه آزمایش شناسایی دسته ترکیبات گیاه آفسنتین.

دسته ترکیبات	تانی	فلاونوئید	آلکالوئید	آنتراکینون	گلیکوزید قلبی	ساپونین
گیاه آفسنتین	+	+	+	-	-	-

+ : گیاه حاوی دسته ترکیب است؛ - : گیاه فاقد دسته ترکیب است.

جدول ۴: نتایج آزمون رنگ‌سنجی بر روی نمونه‌های گروه A.

مرکب‌های گروه A (مازو به زاج ۳:۱)	نسبت حجم عصاره به حجم مرکب (درصد)	L	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*
۱ (نمونه شاهد)	-	۴۰٫۰۷	-۱٫۱۸	-۳٫۰۰	-	-	-	-
۲	۵	۴۵٫۸۳	-۲٫۱۳	-۳٫۳۵	۵٫۷۶	-۰٫۹۵	-۰٫۳۵	۵٫۸۵
۳	۱۰	۴۴٫۱۰	-۲٫۱۰	-۳٫۸۰	۴٫۰۳	-۰٫۹۲	-۰٫۸۰	۴٫۲۱
۴	۱۵	۴۴٫۲۸	-۱٫۹۰	-۳٫۱۴	۴٫۲۱	-۰٫۷۲	-۰٫۱۴	۴٫۲۷
۵	۲۰	۴۳٫۶۵	-۱٫۹۷	-۳٫۰۸	۳٫۵۸	-۰٫۷۹	-۰٫۰۸	۳٫۶۷
۶	۲۵	۴۲٫۲۲	-۱٫۸۴	-۲٫۰۶	۲٫۱۵	-۰٫۶۶	۰٫۹۴	۲٫۴۴
۷	۳۰	۴۱٫۱۴	-۱٫۴۲	-۲٫۷۰	۱٫۰۷	-۰٫۲۴	۰٫۳۰	۱٫۱۴
۸	۳۵	۳۸٫۱۰	-۱٫۵۰	-۲٫۳۰	-۱٫۹۷	-۰٫۳۲	۰٫۷۰	۲٫۱۱
۹	۴۰	۴۰٫۵۵	-۱٫۴۳	-۱٫۷۵	۰٫۴۸	-۰٫۲۵	۱٫۲۵	۱٫۳۶
۱۰	۴۵	۴۲٫۲۰	-۱٫۲۰	-۲٫۰۵	۲٫۱۳	-۰٫۰۲	۰٫۹۵	۲٫۳۳

L: میزان روشنایی قبل از پیرسازی؛ a\*: مقدار محور سبز-قرمز؛ b\*: مقدار محور آبی-زرد؛ ΔL\*: تغییرات روشنایی؛ Δa\*: تغییرات محور سبز-قرمز؛ Δb\*: تغییرات محور آبی-زرد؛ ΔE\*: میزان تغییر رنگ

بزرگی از مواد رنگزای گیاهی را شامل می‌شوند که معمولاً به رنگ زرد تا زرد-نارنجی است [۱۸].

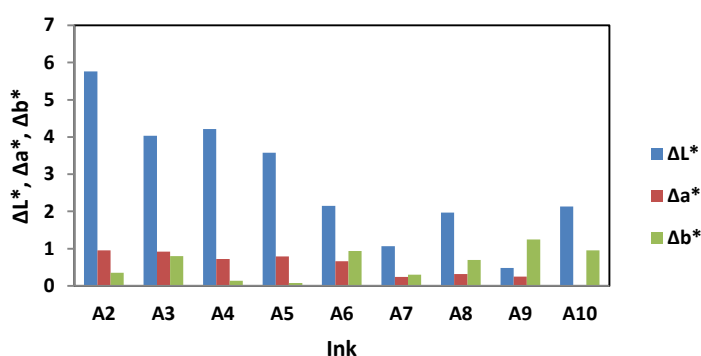
همچنین محاسبه میزان تغییر فام مرکب‌های حاوی عصاره نسبت به نمونه شاهد (بدون عصاره)، نشان داد که افزودن ۳۰٪ عصاره گیاه آفسنتین به این نوع مرکب آهن-مازو، کم‌ترین تغییر فام و افزودن ۵٪ عصاره، بیشترین تغییر فام را به همراه داشت (شکل ۲).

### گروه B

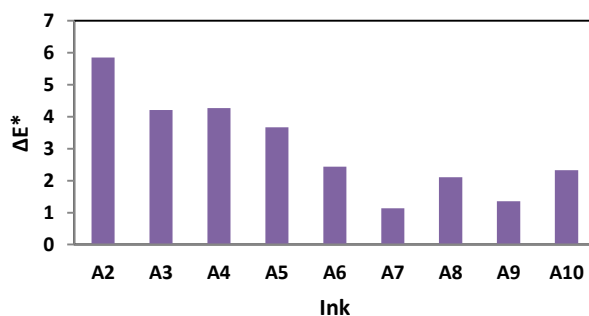
نتایج حاصل از رنگ‌سنجی (جدول ۵)، نشان داد که میزان شاخص L (تاریکی-روشنایی) در نمونه‌های حاوی عصاره نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است. این موضوع بیانگر آن است که افزودن عصاره آفسنتین به مرکب به سبب دارا بودن ترکیبات رنگی بر روشنایی آن تأثیرگذار است. البته روند صعودی یا نزولی خاصی در مقایسه با حجم عصاره مورد استفاده مشاهده نشد. به طوری که افزودن ۵٪ عصاره به مرکب تغییر چندانی بر روی روشنایی آن نداشت، در حالی که افزودن ۳۰٪ عصاره بیشترین میزان روشنایی در مرکب را به همراه داشت.

دیگر شاخص مورد بررسی در تغییرات رنگی، شاخص  $a^*$  است که میزان تغییرات رنگی از سبز به قرمز در نمونه‌ها قبل و بعد از افزودن عصاره آفسنتین را نشان می‌دهد (جدول ۴). نتایج نشان‌دهنده این است که با افزودن عصاره، شاهد سیر صعودی در مقدار این عامل هستیم که در واقع نمایانگر تمایل به سمت سبزی است. این امر می‌تواند ناشی از وجود ترکیباتی به نام تانن در عصاره گیاه باشد زیرا تانن‌ها قادرند با املاح آهن، رنگ آبی تند یا سبز مایل به سیاه تولید کنند [۱۹]. همچنین افزودن ۴۵٪ عصاره آفسنتین کم‌ترین میزان سبزی و افزودن ۵٪ عصاره بیشترین میزان سبزی را به همراه داشت (شکل ۱).

آنچه در بررسی تغییرات رنگی ایجاد شده در نمونه‌ها بسیار واجد اهمیت است، تغییرات به وجود آمده در شاخص  $b^*$  (آبی تا زرد) است. در بررسی این شاخص از تغییرات رنگی (جدول ۴)، نتایج حاکی از این است که با افزودن ۲۰-۵٪ عصاره به مرکب شاهد سیر صعودی در این مشخصه هستیم که نمایانگر تمایل به سمت رنگ آبی است و می‌تواند ناشی از حضور تانن‌ها در عصاره گیاه باشد. در حالی که افزودن بیش از ۲۵٪ عصاره آفسنتین به مرکب سیر نزولی در این پارامتر و در نتیجه تمایل به سمت زردی را به دنبال دارد. زیرا عصاره آفسنتین شامل فلاونوئیدها است و این دسته ترکیبات، گروه



شکل ۱: نمودار تغییرات روشنایی ( $\Delta L^*$ )؛ تغییرات مقدار محور سبز-قرمز ( $\Delta a^*$ )؛ تغییرات مقدار محور آبی-زرد ( $\Delta b^*$ ) مرکب‌های گروه A.



شکل ۲: نمودار میزان تغییر رنگ ( $\Delta E^*$ ) حاصل از آزمون رنگ‌سنجی بر روی نمونه‌های مرکب حاوی عصاره گیاه گروه A.

جدول ۵: نتایج آزمون رنگ سنجی بر روی نمونه‌های گروه B.

$\Delta E^*$	$\Delta b^*$	$\Delta a^*$	$\Delta L^*$	$b^*$	$a^*$	L	نسبت حجم عصاره به حجم مرکب (درصد)	مرکب‌های گروه B (مازو به زاج ۱:۱)
-	-	-	-	-۳,۲۴	-۲,۱۴	۴۱,۸۶	-	(نمونه شاهد)
۰,۲۱	-۰,۱۶	۰,۰۷	۰,۱۱	-۳,۴۰	-۲,۰۷	۴۱,۹۷	۵	۲
۱,۰۰	-۰,۹۲	۰,۳۴	۰,۱۸	-۴,۱۶	-۱,۸۰	۴۲,۰۴	۱۰	۳
۰,۹۶	-۰,۵۹	۰,۲۱	۰,۷۳	-۳,۸۳	-۱,۹۳	۴۲,۵۹	۱۵	۴
۱,۳۸	-۰,۶۷	۰,۹۱	۰,۷۹	-۳,۹۱	-۱,۲۳	۴۲,۶۵	۲۰	۵
۰,۷۸	-۰,۵۴	۰,۲۶	۰,۵۰	-۳,۷۸	-۱,۸۸	۴۲,۳۶	۲۵	۶
۲,۰۵	۰,۴۲	۰,۴۱	۱,۹۶	-۲,۸۲	-۱,۷۳	۴۳,۸۲	۳۰	۷
۱,۸۷	۰,۴۲	۰,۹۴	۱,۵۶	-۲,۸۲	-۱,۲۰	۴۳,۴۲	۳۵	۸
۱,۶۴	۰,۴۷	۰,۳۹	۱,۵۲	-۲,۷۷	-۱,۷۵	۴۳,۳۸	۴۰	۹
۰,۸۲	۰,۴۸	۰,۰۹	۰,۶۶	-۲,۷۶	-۲,۰۵	۴۲,۵۲	۴۵	۱۰

L: میزان روشنایی قبل از پیرسازی؛  $a^*$ : مقدار محور سبز-قرمز؛  $b^*$ : مقدار محور آبی-زرد؛  $\Delta L^*$ : تغییرات روشنایی؛  $\Delta a^*$ : تغییرات محور سبز-قرمز؛  $\Delta b^*$ : تغییرات محور آبی-زرد؛  $\Delta E^*$ : میزان تغییر رنگ

محاسبه میزان تغییر رنگ مرکب‌های حاوی عصاره نسبت به نمونه شاهد (بدون عصاره)، نیز حاکی از این است که افزودن ۵٪ عصاره گیاه آفسنتین به این نوع مرکب آهن-مازو، کم‌ترین تغییر رنگ و افزودن ۳۰٪ عصاره، بیشترین تغییر رنگ را به همراه خواهد داشت (شکل ۴).

### ۳-۳- ثبات نوری

در بسیاری از موارد مرکب آهن-مازو می‌تواند باعث تخریب مواد کاغذی که بر روی آن اعمال شده بشود. روند تخریب پیچیده است و خوردگی مرکب نام دارد [۲۰]. دو واکنش آبکافت اسیدی و اکسایش فلز کاتالیست، سبب ایجاد این خوردگی می‌شوند. همچنین میزان بالای اسید سولفوریک و یون‌های آهن موجود در مرکب نیز روند تخریب را سرعت می‌بخشد [۲۱، ۲۲]. در اثر پدیده خوردگی، مرکب به سرعت از سیاه به قهوه‌ای زنگ زده تغییر می‌کند، به خصوص وقتی که در معرض نور و رطوبت قرار می‌گیرد. همچنین به بافت کاغذ نیز صدمه می‌زند و باعث ترک برداشتن و حتی خوردن کاغذ در محلی که جوهر است می‌شود [۱۲]. زیرا پرتو فرابنفش سبب ایجاد یا افزایش واکنش‌های شیمیایی مثل اکسایش و آبکافت می‌شود [۲۳] بنابراین بالا بردن کیفیت مرکب و پایداری آن در برابر

در بررسی شاخص  $a^*$  (سبز تا قرمز) در نمونه‌ها قبل و بعد از افزودن عصاره آفسنتین (جدول ۵)، نتایج نشان‌دهنده این است که با افزودن عصاره، شاهد سیر نزولی در مقدار این شاخص هستیم که در واقع نمایانگر تمایل به سمت قرمزی است. به نظر می‌رسد این امر می‌تواند از کم‌تر بودن نسبت میزان مازو به زاج در این نوع مرکب و در نتیجه افزایش تأثیر ترکیبات رنگی موجود در عصاره آفسنتین حاصل شده باشد. همچنین افزودن ۵٪ عصاره گیاه آفسنتین به مرکب، کم‌ترین تغییر و اضافه کردن ۳۵٪ عصاره بیشترین تغییر را به همراه داشت (شکل ۳).

دیگر شاخص مورد بررسی در تغییرات رنگی، شاخص  $b^*$  است که میزان تغییرات رنگی از آبی به زرد در نمونه‌ها قبل و بعد از افزودن عصاره آفسنتین را نشان می‌دهد (جدول ۵). نتایج نشان‌دهنده این است که با افزودن ۲۵-۵٪ عصاره، شاهد سیر صعودی در مقدار این شاخص هستیم که در واقع نمایانگر تمایل به سمت آبی است زیرا تان‌های موجود در عصاره قادرند با املاح آهن، رنگ آبی تند یا سبز مایل به سیاه تولید کنند ولیکن افزودن بیش از ۳۰٪ عصاره آفسنتین تمایل به سمت زردی را به همراه داشت و می‌توان آن را ناشی از حضور فلاونوئیدهای زرد رنگ دانست به طوری که با افزایش غلظت عصاره، این روند سیری صعودی پیدا کرد (شکل ۳).

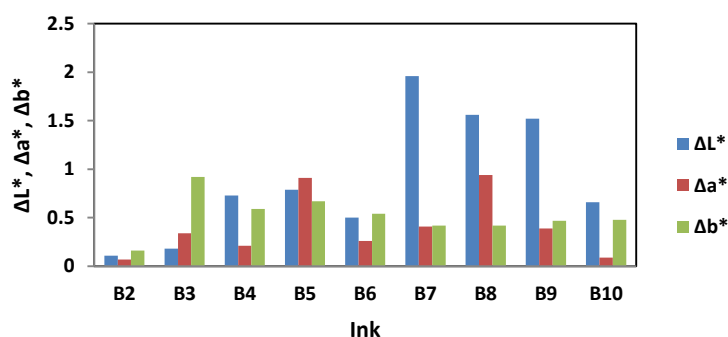
از پیرسازی است. با توجه به این که عصاره آفسنتین به دلیل دارا بودن ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها دارای خاصیت آنتی رادیکالی است [۲۵-۲۷] این احتمال وجود دارد که بتواند از طریق غیرفعال کردن یون‌های آهن آزاد موجود در مرکب و جلوگیری از فعالیت کاتالیزوری آن‌ها سبب افزایش تیرگی مرکب و پایدارسازی رنگ آن در برابر نور شود.

علاوه بر تحلیل و بررسی جداگانه هر یک از شاخص‌ها در نمونه‌ها، میزان رنگ پریدگی (تغییرات کلی رنگ) نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و ملاحظه شد که تقریباً تمامی نمونه‌های حاوی عصاره (به جز نمونه‌های A<sub>2</sub> و A<sub>5</sub>) نسبت به نمونه شاهد میزان تخریب فتوشیمیایی کمتری را متحمل شده‌اند (جدول ۷). این بدان معنی است که افزودن عصاره آفسنتین به این نوع از مرکب آهن-مازو بر ثبات رنگ آن در برابر نور مؤثر است و با کاهش میزان رنگ پریدگی نوشته‌ها، حفظ طولانی مدت آثار کاغذی نگارش یافته با این نوع مرکب را به همراه دارد.

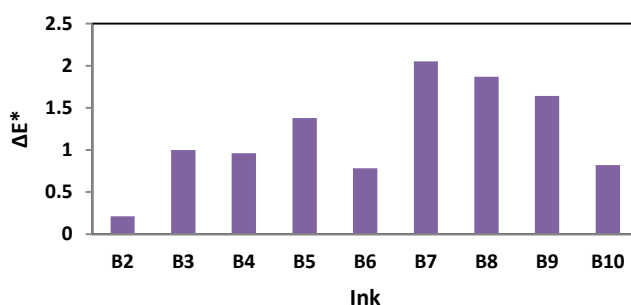
نور می‌تواند به حفظ نوشته‌ها در مدت زمان بیشتری بیانجامد.

### گروه A

کاهش شاخص a\* در نمونه‌های حاوی عصاره نسبت به نمونه شاهد (جدول ۶) نشان دهنده تغییرات فام به سمت قرمزی بیشتر پس از پیرسازی است. شاخص b\* نیز در بیشتر نمونه‌های حاوی عصاره نسبت به نمونه شاهد با روند کاهشی روبرو است که به معنای افزایش میزان زردی با گذر زمان است. این امر می‌تواند ناشی از تغییرات شیمیایی ایجاد شده در کاغذ در طی فرآیند پیرسازی باشد [۲۴]. شاخص L\* روشنی-تیرگی را نشان می‌دهد که از صفر تا صد درجه بندی می‌شود. مقادیر مثبت  $\Delta L^* = L_2 - L_1$  گویای افزایش روشنی و مقادیر منفی، نشان دهنده کاهش آن یا افزایش تیرگی است. نتایج بررسی شاخص L\* حاکی از کاهش روشنیایی نمونه‌های حاوی عصاره نسبت به نمونه شاهد پس از پیرسازی نوری است (جدول ۶). این امر نشان می‌دهد که افزودن عصاره آفسنتین به مرکب تأثیر مثبتی بر شاخص مورد نظر داشته و تأیید کننده تیرگی مرکب پس



شکل ۳: نمودار تغییرات روشنیایی ( $\Delta L^*$ )؛ تغییرات مقدار محور سبز-قرمز ( $\Delta a^*$ )؛ تغییرات مقدار محور آبی-زرد ( $\Delta b^*$ ) مرکب‌های گروه B.



شکل ۴: نمودار میزان تغییر رنگ ( $\Delta E^*$ ) حاصل از آزمون رنگ‌سنجی بر روی نمونه‌های مرکب حاوی عصاره گروه B.

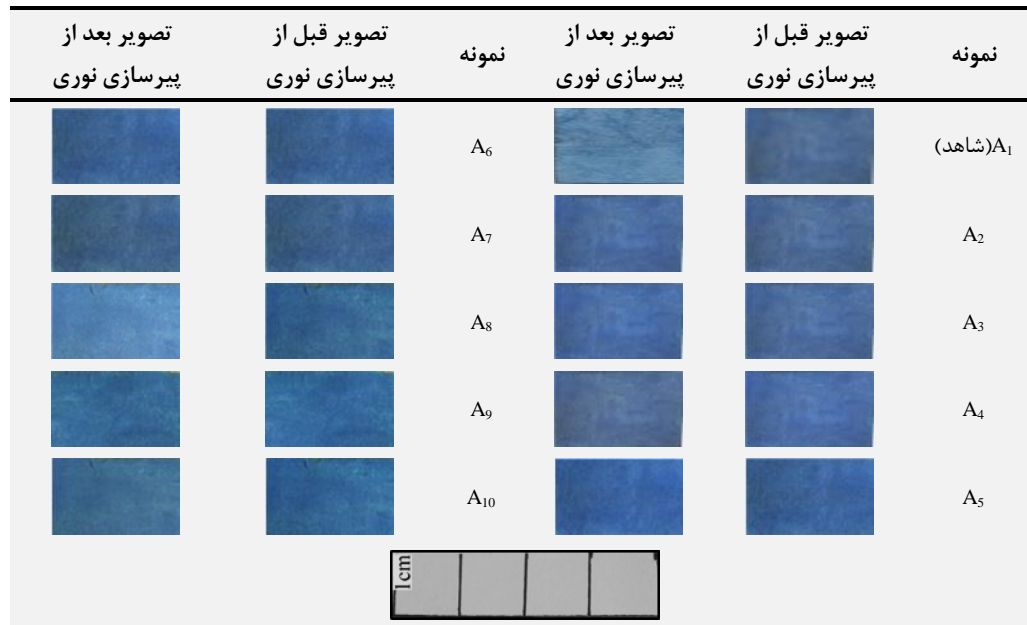


جدول ۶: نتایج آزمون رنگ‌سنجی بر روی نمونه‌های گروه A بعد از پیرسازی نوری.

$\Delta E^*$	$b_2^*$	$a_2^*$	$L_2^*$	$b_1^*$	$a_1^*$	$L_1^*$	نسبت حجم عصاره به حجم مرکب (درصد)	مرکب‌های گروه A (مازو به زاج ۳:۱)
۳,۳۸	-۱,۱۳	-۲,۴۱	۴۲,۶۰	-۳,۰۰	-۱,۱۸	۴۰,۰۷	-	(نمونه شاهد)
۴,۴۷	-۰,۴۶	-۲,۰۸	۴۲,۴۲	-۳,۳۵	-۲,۱۳	۴۵,۸۳	۵	۲
۳,۳۳	-۱,۹۰	-۱,۷۸	۴۱,۳۸	-۳,۸۰	-۲,۱۰	۴۴,۱۰	۱۰	۳
۲,۱۱	-۱,۳۰	-۱,۶۶	۴۳,۲۸	-۳,۱۴	-۱,۹۰	۴۴,۲۸	۱۵	۴
۵,۶۹	-۲,۸۴	-۱,۱۶	۳۸,۰۲	-۳,۰۸	-۱,۹۷	۴۳,۶۵	۲۰	۵
۱,۷۹	-۳,۶۰	-۱,۵۰	۴۱,۳۸	-۲,۰۶	-۱,۸۴	۴۲,۲۲	۲۵	۶
۳,۲۷	-۳,۰۰	-۰,۹۶	۳۷,۹۰	-۲,۷۰	-۱,۴۲	۴۱,۱۴	۳۰	۷
۰,۸۳	-۳,۰۴	-۱,۴۴	۳۷,۷۴	-۲,۳۰	-۱,۵۰	۳۸,۱۰	۳۵	۸
۱,۴۶	-۲,۳۰	-۰,۹۰	۳۹,۳۰	-۱,۷۵	-۱,۴۳	۴۰,۵۵	۴۰	۹
۱,۶۲	-۰,۵۸	-۱,۲۶	۴۱,۵۲	-۲,۰۵	-۱,۲۰	۴۲,۲۰	۴۵	۱۰

$L_1^*$ : میزان روشنایی قبل از پیرسازی؛  $a_1^*$ : مقدار محور سبز-قرمز قبل از پیرسازی؛  $b_1^*$ : مقدار محور آبی-زرد قبل از پیرسازی؛  $L_2^*$ : میزان روشنایی بعد از پیرسازی؛  $a_2^*$ : مقدار محور سبز-قرمز بعد از پیرسازی؛  $b_2^*$ : مقدار محور آبی-زرد بعد از پیرسازی؛  $\Delta E^*$ : میزان رنگ‌پریدگی.

جدول ۷: تصویر نمونه‌های گروه A قبل و بعد از پیرسازی نوری.



زردی و روشنایی رنگ مرکب با گذر زمان است. این مطلب حاکی از این است که افزودن عصاره گیاه آفسنتین به این نوع از مرکب آهن-مازو، تأثیری بر ثبات رنگ آن در برابر نور نداشت و حتی سبب رنگ‌پریدگی بیشتر مرکب شد (جدول ۹). با توجه به این نکته که با کاهش میزان مازو نسبت به زاج کمپلکس نامحلول و سیاه رنگ

### گروه B

در بررسی نتایج حاصل از آزمون رنگ‌سنجی (جدول ۸)، مشخص شد که میزان مشخصه‌های  $a^*$  (سبز-قرمز)،  $b^*$  (آبی-زرد) و  $L^*$  (تاریکی-روشنایی) در همه نمونه‌های حاوی عصاره نسبت به نمونه شاهد با روند کاهشی روبرو است که به معنای افزایش میزان قرمزی،

شده بلکه فلزات واسطه مثل آهن نیز اکسایش سلولز را سرعت بخشیده و با شکست زنجیره پلیمری سلولز سبب تغییر رنگ و شکنندگی کاغذ شده‌اند [۲۸].

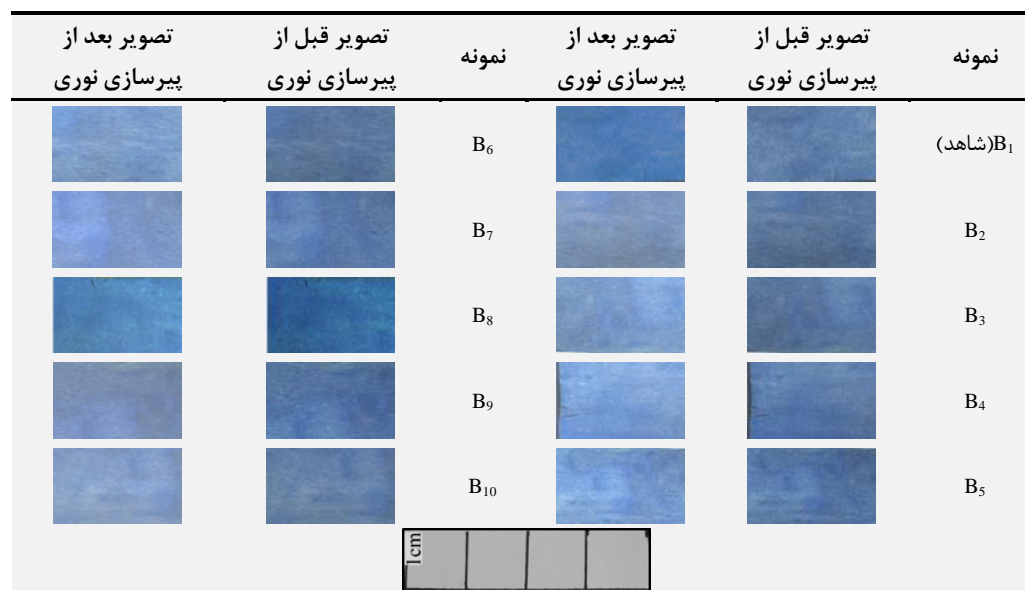
فریک پیروگالات کم‌تری در فرآیند شکل‌گیری رنگ مرکب تشکیل شده است، نه تنها تأثیرگذاری ترکیبات رنگی موجود در عصاره آفستین یعنی فلاونوئیدها، تان‌ها و آلکالوئیدها بر رنگ مرکب بیشتر

جدول ۸: نتایج آزمون رنگ‌سنجی بر روی نمونه‌های گروه B بعد از پیرسازی نوری.

$\Delta E^*$	$b_2^*$	$a_2^*$	$L_2^*$	$b_1^*$	$a_1^*$	$L_1^*$	نسبت حجم عصاره به حجم مرکب (درصد)	مرکب‌های گروه B (مازو به زاج ۱:۱)
۲,۹۱	-۲,۱۶	-۱,۷۳	۳۹,۱۹	-۳,۲۴	-۲,۱۴	۴۱,۸۶	-	۱ (نمونه شاهد)
۴,۸۶	۱,۰۰	-۰,۱۱	۴۲,۶۱	-۳,۴۰	-۲,۰۷	۴۱,۹۷	۵	۲
۵,۱۲	۰,۴۲	-۰,۲۶	۴۳,۷۴	-۴,۱۶	-۱,۸۰	۴۲,۰۴	۱۰	۳
۵,۱۱	۰,۹۲	-۰,۳۵	۴۳,۶۳	-۳,۸۳	-۱,۹۳	۴۲,۵۹	۱۵	۴
۵,۲۲	۰,۹۸	-۰,۵۹	۴۴,۳۷	-۳,۹۱	-۱,۲۳	۴۲,۶۵	۲۰	۵
۴,۶۰	۰,۶۹	-۱,۰۹	۴۳,۱۳	-۳,۷۸	-۱,۸۸	۴۲,۳۶	۲۵	۶
۴,۸۸	۲,۰۱	-۱,۷۳	۴۴,۳۰	-۲,۸۲	-۱,۷۳	۴۳,۸۲	۳۰	۷
۴,۹۷	۱,۹۴	۰,۲۳	۴۳,۲۷	-۲,۸۲	-۱,۲۰	۴۳,۴۲	۳۵	۸
۶,۰۶	۱,۷۵	۲,۲۹	۴۳,۲۱	-۲,۷۷	-۱,۷۵	۴۳,۳۸	۴۰	۹
۵,۱۷	۱,۶۸	۰,۵۷	۴۲,۹۶	-۲,۷۶	-۲,۰۵	۴۲,۵۲	۴۵	۱۰

\* $L_1$ : میزان روشنایی قبل از پیرسازی؛ \* $a_1$ : مقدار محور سبز-قرمز قبل از پیرسازی؛ \* $b_1$ : مقدار محور آبی-زرد قبل از پیرسازی؛ \* $L_2$ : میزان روشنایی بعد از پیرسازی؛ \* $a_2$ : مقدار محور سبز-قرمز بعد از پیرسازی؛ \* $b_2$ : مقدار محور آبی-زرد بعد از پیرسازی؛ \* $\Delta E$ : میزان رنگ پریدگی.

جدول ۹: تصویر نمونه‌های گروه B قبل و بعد از پیرسازی نوری.



### ۴-۳- ثبات رنگ در برابر دما و رطوبت

در مرکب آهن-مازو، اسید سولفوریک (محصول تولید شده در مرحله شکل گیری رنگ مرکب) بر خلاف اسیدهای آلی فرار در طول زمان از تکیه‌گاه کاغذی تبخیر نمی‌شود. این ویژگی منجر به تسریع عمل آبکافت اسیدی و در نتیجه شکست ساختار مرکب و تشکیل محصولات فنولیکی مخرب مثل اسید الاژیک و پورپوروگالین شده که سبب قهوه‌ای شدن رنگ مرکب می‌شوند [۱، ۲۹، ۳۰]. با توجه به این که افزایش دما و رطوبت محیط، میزان واکنش‌های شیمیایی از جمله اکسایش و آبکافت را شدت می‌بخشد، پیرسازی دما-رطوبت بر روی نمونه‌ها انجام شد تا تأثیر آفسنتین بر آبکافت اسیدی و اکسایش مرکب آهن-مازو بررسی شود.

می‌افتد، تان‌ها از طریق واکنش با آهن، مقدار اضافی آن را از محیط خارج کرده و کاهش فرآیند اکسایش را به همراه دارند. همچنین خاصیت قلیایی آلکالوئیدها [۳۲] نیز بر واکنش‌های شیمیایی مخرب از قبیل آبکافت اسیدی تأثیری مثبت داشته و میزان تخریب را کاهش داده است.

بررسی تغییر رنگ کلی نمونه‌ها پس از پیرسازی دما-رطوبت (جدول ۱۰) نشان داد که افزودن مقادیر ۴۵-۲۵٪ عصاره گیاه آفسنتین به این نوع از مرکب آهن-مازو تأثیری مثبت بر کاهش میزان تغییر رنگ آن داشت و اثر این کاهش در مرکب A<sub>6</sub> حاوی ۲۵٪ عصاره بیشتر است.

### گروه A

در بررسی تغییرات به وجود آمده در شاخص‌های a\* (سبز-قرمز) و b\* (آبی-زرد) نتایج حاکی از افزایش میزان قرمزی و زردشدگی نمونه‌های حاوی عصاره نسبت به نمونه شاهد پس از پیرسازی است (جدول ۱۰). این امر می‌تواند ناشی از اسیدی شدن کاغذ باشد، زیرا اسید در کاغذ موجب زردی و شکنندگی آن می‌شود [۳۱]. از طرفی کاهش میزان L\* (تاریکی-روشنایی) در همه نمونه‌های حاوی عصاره نسبت به نمونه شاهد، نشان از تیره شدن رنگ مرکب با گذر زمان است. گیاه آفسنتین غنی از ترکیبات فنلی به خصوص فلاونوئیدها و تان‌ها است [۱۶-۱۴]. با توجه به این که اکسایش بر اثر آهن آزاد موجود در مرکب اتفاق

### گروه B

در بررسی نتایج حاصل از آزمون رنگ سنجی (جدول ۱۱)، افزایش میزان مؤلفه b\* (آبی-زرد) و کاهش میزان مؤلفه a\* (سبز-قرمز) نشان دهنده تغییرات رنگ به سمت زردی و قرمزی بیشتر است. شاخص L\* (تاریکی-روشنایی) نیز در برخی نمونه‌ها روند افزایشی و در بعضی دیگر روندی کاهش‌ی داشت. به همین دلیل تغییرات کلی رنگ (ΔE\*) نمونه‌ها به عنوان مرجع در ارزیابی تغییر رنگ پس از پیرسازی مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که در نمونه‌های B<sub>5</sub> و B<sub>7</sub>-B<sub>10</sub>، مقادیر ΔE\* از مقدار ΔE\* مرکب شاهد (بدون عصاره) کم‌تر است. این بدان معنی است که افزودن مقادیر ۲۰ و ۴۵-۳۰٪ عصاره آفسنتین به این نوع از مرکب، بر کاهش میزان تخریب و در نتیجه تغییر رنگ آن مؤثر است.

جدول ۱۰: نتایج آزمون رنگ‌سنجی بر روی نمونه‌های گروه A بعد از پیرسازی دما-رطوبت.

مرکب‌های گروه A (مازو به زاج ۳:۱)	نسبت حجم عصاره به حجم مرکب (درصد)	L <sub>1</sub> *	a <sub>1</sub> *	b <sub>1</sub> *	L <sub>2</sub> *	a <sub>2</sub> *	b <sub>2</sub> *	ΔE*
۱ (نمونه شاهد)	-	۴۰،۰۷	-۱،۱۸	-۳،۰۰	۴۱،۳۷	-۱،۳۸	۱،۹۰	۵،۰۷
۲	۵	۴۵،۸۳	-۲،۱۳	-۳،۳۵	۴۱،۸۶	-۱،۵۰	۱،۲۴	۶،۱۰
۳	۱۰	۴۴،۱۰	-۲،۱۰	-۳،۸۰	۴۰،۱۰	-۱،۵۴	۱،۰۰	۶،۲۷
۴	۱۵	۴۴،۲۸	-۱،۹۰	-۳،۱۴	۳۹،۲۵	-۱،۴۰	۰،۲۷	۶،۱۰
۵	۲۰	۴۳،۶۵	-۱،۹۷	-۳،۰۸	۴۰،۶۸	-۱،۳۰	۱،۴۴	۵،۴۵
۶	۲۵	۴۲،۲۲	-۱،۸۴	-۲،۰۶	۳۹،۷۴	-۱،۷۴	۱،۳۲	۴،۱۹
۷	۳۰	۴۱،۱۴	-۱،۴۰	-۲،۷۰	۳۷،۸۲	-۱،۲۰	۰،۹۶	۴،۹۵
۸	۳۵	۳۸،۱۰	-۱،۵۰	-۲،۳۰	۳۶،۴۰	-۰،۸۰	۱،۶۰	۴،۳۱
۹	۴۰	۴۰،۵۵	-۱،۴۳	-۱،۷۵	۳۶،۲۵	-۱،۱۰	۰،۸۸	۵،۰۵
۱۰	۴۵	۴۲،۲۰	-۱،۲۰	-۲،۰۵	۴۱،۱۴	-۱،۰۸	۲،۶۸	۴،۸۵

\*L<sub>1</sub>: میزان روشنایی قبل از پیرسازی؛ \*a<sub>1</sub>: مقدار محور سبز-قرمز قبل از پیرسازی؛ \*b<sub>1</sub>: مقدار محور آبی-زرد قبل از پیرسازی؛ \*L<sub>2</sub>: میزان روشنایی بعد از پیرسازی؛ \*a<sub>2</sub>: مقدار محور سبز-قرمز بعد از پیرسازی؛ \*b<sub>2</sub>: مقدار محور آبی-زرد بعد از پیرسازی؛ \*ΔE: میزان تغییر رنگ

جدول ۱۱: نتایج آزمون رنگ‌سنجی بر روی نمونه‌های گروه B بعد از پیرسازی دما-رطوبت.

$\Delta E^*$	$b_2^*$	$a_2^*$	$L_2^*$	$b_1^*$	$a_1^*$	$L_1^*$	نسبت حجم عصاره به حجم مرکب (درصد)	مرکب‌های گروه B (مازو به زاج ۱:۱)
۷,۴۰	۱,۳۹	-۱,۱	۳۶,۱۸	-۳,۲۴	-۲,۱۴	۴۱,۸۶	-	۱ (نمونه شاهد)
۷,۴۸	۳,۹۹	-۱,۵۷	۴۳,۰۱	-۳,۴۰	-۲,۰۷	۴۱,۹۷	۵	۲
۷,۸۱	۳,۶۲	-۱,۱۹	۴۲,۲۴	-۴,۱۶	-۱,۸۰	۴۲,۰۴	۱۰	۳
۸,۱۶	۴,۰۵	-۰,۵۷	۴۰,۹۴	-۳,۸۳	-۱,۹۳	۴۲,۵۹	۱۵	۴
۶,۷۶	۲,۸۰	-۰,۸۲	۴۳,۶۹	-۳,۹۱	-۱,۲۳	۴۲,۶۵	۲۰	۵
۸,۴۲	۴,۵۱	-۰,۹۱	۴۳,۴۴	-۳,۷۸	-۱,۸۸	۴۲,۳۶	۲۵	۶
۶,۳۰	۳,۰۳	-۰,۳۷	۴۱,۹۲	-۲,۸۲	-۱,۷۳	۴۳,۸۲	۳۰	۷
۷,۳۱	۴,۴۸	-۱,۳۰	۴۳,۶۸	-۲,۸۲	-۱,۲۰	۴۳,۴۲	۳۵	۸
۵,۲۸	۲,۱۴	-۰,۷۴	۴۱,۷۲	-۲,۷۷	-۱,۷۵	۴۳,۳۸	۴۰	۹
۵,۰۷	۲,۰۰	-۰,۳۶	۴۲,۱۳	-۲,۷۶	-۲,۰۵	۴۲,۵۲	۴۵	۱۰

\* $L_1$ : میزان روشنایی قبل از پیرسازی؛ \* $a_1$ : مقدار محور سبز-قرمز قبل از پیرسازی؛ \* $b_1$ : مقدار محور آبی-زرد قبل از پیرسازی؛ \* $L_2$ : میزان روشنایی بعد از پیرسازی؛ \* $a_2$ : مقدار محور سبز-قرمز بعد از پیرسازی؛ \* $b_2$ : مقدار محور آبی-زرد بعد از پیرسازی؛ \* $\Delta E$ : میزان تغییر رنگ

### ۳-۵- تغییرات اسیدی بودن

ابتدا pH محلول مرکب‌های شاهد (بدون عصاره گیاه آفسنتین)، اندازه‌گیری شد (جدول ۱۲). نتایج نشان دهنده اسیدی بودن مرکب‌ها است که این امر با توجه به تولید اسید سولفوریک و یا اکسایش یون‌های  $Fe^{2+}$  به  $Fe^{3+}$  توسط اکسیژن هوا در فرآیند شکل‌گیری رنگ مرکب آهن-مازو [۳۳] دور از انتظار نیست. در ساخت مرکب، مازو به عنوان منبعی از تانن مورد استفاده قرار می‌گیرد و اجزا فعال در تانن‌ها عبارتند از: گالوتانن و اسید گالیک [۶]. گالوتانن‌ها استرهای اسید گالیک هستند که در گروه تانن‌های قابل آبکافت قرار دارند و از آبکافت آن‌ها اسید گالیک حاصل می‌شود [۳۴] که ماده اساسی و اولیه مرکب آهن-مازو است. به همین دلیل مرکب گروه A به دلیل وجود مازوی بیشتر، از میزان اسیدی بودن بالاتری برخوردار است. سپس pH نمونه‌های کاغذ آغشته به مرکب، قبل و بعد از پیرسازی دما-رطوبت اندازه‌گیری شد تا تغییرات ناشی از افزودن عصاره در میزان اسیدی بودن نمونه‌ها بررسی شود.

جدول ۱۲: pH محلول مرکب‌های شاهد.

مرکب شاهد	گروه مرکب‌ها
۱,۶۰	A
۱,۹۰	B

### گروه A

بر اساس نتایج حاصل از pH سنجی نمونه‌ها بعد از پیرسازی دما-رطوبت (جدول ۱۳)، مشاهده شد که میانگین  $\Delta pH$  یعنی تغییرات اسیدی بودن نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی برای نمونه‌های حاوی عصاره آفسنتین برابر با ۰,۰۸ است. در مقایسه با تغییرات pH نمونه شاهد کاملاً روشن است که افزودن عصاره آفسنتین به این نوع مرکب آهن-مازو تأثیر مثبتی بر کاهش تغییرات pH نمونه‌ها داشته است. به نظر می‌رسد عصاره گیاه به دلیل وجود ترکیباتی نظیر آلکالوئیدها که ماهیت قلیایی دارند [۳۲] به کاهش تغییرات اسیدی بودن نمونه‌ها کمک کرده است. از طرفی آلکالوئیدها می‌توانند با بسیاری از فلزات سنگین از جمله آهن رسوب دهند، بنابراین احتمال تثبیت بر اثر تغییر ساختار و ایجاد کمپلکس هم وجود دارد. همچنین ایجاد شلات آهن با سایر ترکیبات موجود در عصاره گیاه هم محتمل است.

### گروه B

نتایج حاصل از pH سنجی (جدول ۱۴) نشان داد که برخلاف وجود ترکیباتی نظیر آلکالوئیدها در عصاره گیاه آفسنتین که ماهیت قلیایی دارند، تأثیر مثبتی بر کاهش اسیدیته نمونه‌ها مشاهده نشد. به نظر می‌رسد با توجه به این که زاج یکی از کانی‌های سولفات آهن دار است، افزایش مقدار آن نسبت به مازو عامل این اتفاق باشد.

جدول ۱۳: pH نمونه‌های گروه A قبل و بعد از پیرسازی دما-رطوبت.

مرکب‌های گروه A	نسبت حجم عصاره به حجم مرکب (درصد)	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub>	ΔpH
۱ (نمونه شاهد)	-	۲,۹۶	۲,۷۸	۰,۱۸
۲	۵	۲,۹۳	۲,۸۲	۰,۱۱
۳	۱۰	۲,۹۸	۲,۹۱	۰,۰۷
۴	۱۵	۲,۸۷	۲,۸۴	۰,۰۳
۵	۲۰	۲,۸۱	۲,۷۶	۰,۰۵
۶	۲۵	۲,۷۹	۲,۷۱	۰,۰۸
۷	۳۰	۲,۸۹	۲,۸۲	۰,۰۷
۸	۳۵	۲,۹۴	۲,۸۶	۰,۰۸
۹	۴۰	۲,۹۴	۲,۸۴	۰,۱۰
۱۰	۴۵	۲,۸۸	۲,۷۷	۰,۱۱

pH<sub>1</sub>: میزان اسیدی بودن نمونه‌ها قبل از پیرسازی دما-رطوبت؛ pH<sub>2</sub>: میزان اسیدی بودن نمونه‌ها بعد از پیرسازی دما-رطوبت؛ ΔpH: تغییرات اسیدی بودن نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی دما-رطوبت.

جدول ۱۴: pH نمونه‌های گروه B قبل و بعد از پیرسازی دما-رطوبت.

مرکب‌های گروه B	نسبت حجم عصاره به حجم مرکب (درصد)	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub>	ΔpH
۱ (نمونه شاهد)	-	۳,۴۳	۳,۱۶	۰,۲۷
۲	۵	۳,۴۶	۳,۲۲	۰,۲۴
۳	۱۰	۳,۶۷	۳,۰۷	۰,۶۰
۴	۱۵	۳,۵۲	۳,۱۲	۰,۴۰
۵	۲۰	۳,۵۹	۳,۱۵	۰,۴۴
۶	۲۵	۳,۴۱	۳,۰۳	۰,۳۸
۷	۳۰	۴,۱۸	۳,۰۸	۱,۱۰
۸	۳۵	۴,۱۱	۳,۰۵	۱,۰۶
۹	۴۰	۴,۱۱	۳,۰۴	۱,۰۷
۱۰	۴۵	۳,۵۱	۳,۰۱	۰,۵۰

pH<sub>1</sub>: میزان اسیدی بودن نمونه‌ها قبل از پیرسازی دما-رطوبت؛ pH<sub>2</sub>: میزان اسیدی بودن نمونه‌ها بعد از پیرسازی دما-رطوبت؛ ΔpH: تغییرات اسیدی بودن نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی دما-رطوبت.

#### ۴- نتیجه‌گیری

لکه‌های قهوه‌ای هستند که در زیر و اطراف خطوط مرکب ایجاد می‌شوند. در منابع قدیمی به خصوص کتب طب سنتی و داروسازی که براساس شناخت گیاهان دارویی نگاشته شده‌اند، دستورالعمل‌های حفاظتی گوناگونی برای اهداف متفاوتی از جمله بهبود کیفیت مرکب و حفاظت از آثار کاغذی نگارش شده با آن عنوان شده است. در این

خوردگی مرکب آهن-مازو یکی از معضلات بزرگی است که می‌تواند برای آثار کاغذی جدیدی که قرار است با این نوع از مرکب به نگارش درآیند، ایجاد شود. معمول‌ترین اثر مرتبط با خوردگی مرکب،

شمار می‌رود. به طوری که با افزایش میزان مازو نسبت به زاج، میزان ثبات رنگ مرکب‌های حاوی عصاره نسبت به مرکب شاهد (بدون عصاره) افزایش می‌یابد.

### تشکر و قدردانی

در این فرصت لازم است تا از راهنمایی‌های ارزشمند جناب آقای دکتر محمد حدادی تشکر و قدردانی شود.

پژوهش پس از بررسی یکی از این افزودنی‌ها یعنی آفسنتین بر پایداری رنگ مرکب در برابر عوامل اصلی تخریب یعنی نور، دما و رطوبت مشخص شد که عصاره آفسنتین در دسته مواد رنگزا قرار دارد و افزودن آن به مرکب آهن-مازو میزان زردی و قرمزی پس از پیرسازی‌ها را افزایش داده و تنها از طریق تأثیر بر شاخص  $L^*$  (روشنایی- تاریکی) سبب افزایش تیرگی مرکب و ثبات رنگ آن می‌شود. همچنین نسبت مازو به زاج عامل مهمی در این پایداری به

### ۵- مراجع

۱. م. بویاغچی، م. افشارپور، م. حدادی، مرکب آهن مازو: بررسی روش ساخت، خوردگی و روش های درمان خوردگی. فصلنامه علمی پژوهشی گنجینه اسناد. ۲۶(۱۳۹۵)، ۱۵۹-۱۳۴.
۲. ا. شیوخ، دو منبع قدیمی تازه یاب در باره روش ساخت مرکب، مترجم. ه. آذرنوش. مجله نامه بهارستان. ۵(۱۳۸۱)، ۱۴۱-۱۵۲.
3. L. Fruen, Iron gall ink, <http://www.realscience.breckschool.org/upper/fruen/files/Enrichmentarticles/files/IronGallInk/IronGallInk.html>, Dec. 2013.
4. C. Maitland, Where archival and fine art conservation meet: Applying iron gall ink antioxidants and deacidification treatments to corrosive copper watercolors. *The Book and Paper Group Annual*. 28(2009), 37-45.
5. E. Eusman, Iron gall ink-Ingredients. *Rijkdienst voor het Cultureel Erfgoed* (1998).
6. C. Karnes, How to make ink - ingredients, [http://www.ironlink.org/igi\\_indexd7ce.html](http://www.ironlink.org/igi_indexd7ce.html), accessed online Dec. 2013.
7. E. Mert, A comparative study on chemical characterization of different ink ingredients used in ancient ornamented manuscripts, MA thesis, Middle East Technical University, Turkey, 2008. <http://www.Scirus.com.pdf>, accessed online Dec. 2012.
۸. ز. سلطانی، ح. بروجنی، ع. اصفهانی، بررسی تأثیر افزودنی زعفران در جلوگیری از خوردگی کاغذ به وسیله مرکب آهن-مازو. مجله پژوهش‌های زعفران. ۴(۱۳۹۵)، ۸۷-۱۰۲.
۹. ا. پورتر، آداب و فنون نقاشی و کتاب آرایی، مترجم. ز. رجبی، متن. تهران. ۱۳۸۹، ۸۷-۸۹.
10. H. Wu, K. Waldbauer, L. Tang, L. Xie, R. McKinnon, M. Zehl, B. Kopp, Influence of vinegar and wine processing on the alkaloid content and composition of the traditional chinese medicine corydalis rhizoma (Yanhusu). *J. Molecules*, 19(2014), 11487-11504.
۱۱. ع. دهخدا، لغت نامه دهخدا، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. تهران. ۱۳۷۷.
۱۲. ز. سلطانی، ح. بروجنی، ع. اصفهانی، بررسی تأثیر افزودنی عسل بر روی مرکب سنتی ایرانی. *نشریه علمی علوم و فناوری رنگ*. ۱۰(۱۳۹۵)، ۴۳-۵۴.
۱۳. ا. کیلی، رنگرزی الیاف فرش دستباف، نقش هستی. تهران. ۱۳۸۲، ۳۱.
14. V. Rouchon, E. Pellizzi, M. Duranton, F. Vanmeert, K. Janssens, Combining XANES, ICP-AES, and SEM/EDS for the study of phytate chelating treatments used on iron gall ink damaged manuscripts. *J. Analytical Atomic Spectrometry*. 26(2011), 2434-2441.
15. C. Remazeilles, V. Rouchon-Quillet, J. Bernard, Influence of gum Arabic on iron gall ink corrosion. Part I: A laboratory samples study. *Restaurator*. 25(2004), 220-232.
16. J. Kolar, J. Malešič, D. Kočar, M. Strlič, G. De Bruin, D. Koleša, Characterisation of paper containing iron gall ink using size exclusion chromatography. *Polymer degradation and stability*. 97(2012), 2212-2216.
17. J. E. Agudo, P. J. Pardo, H. Sánchez, Á. L. Pérez, M. I. Suero, A low-cost real color picker based on arduino. *Sensors*. 14(2014), 11943-11956.
18. M. Sequin-Frey, The chemistry of plant and animal dyes. *J. Chemical Education*. 4(1981), 301-305.
19. H. K. Stratis, B. Salvesen. The broad spectrum: Studies in the materials, techniques and conservation of color on paper. Archetype Publications. London, 2002, 120.
20. J. L. Pedersoli, B. Reißland, Risk assessment: A tool to compare alternative courses of action for the conservation of iron-gall ink containing objects. *Restaurator*. 24(2003), 205-226.
21. J. Kolar, A. Štolfa, M. Strlič, M. Pompe, B. Pihlar, M. Budnar, J. Simčič, B. Reissland, Historical iron gall ink containing documents—properties affecting their condition. *Analytica chimica acta*. 555(2006), 167-174.
22. J. Kolar, M. Strlic, M. Budnar, J. Malesic, V.S. Selih, J. Simcic, Stabilisation of corrosive iron gall inks. *Acta Chimica Slovenica*. 50(2003), 763-770.
۲۳. ه. جوزف، زوال محیطی و حفاظت از اسناد آرشیوی، مترجم. ن. بابایی. مجله گنجینه اسناد، ۵۳(۱۳۸۳)، ۷۳-۸۳.
۲۴. ا. سهیلی پور، م. بویاغچی، تأثیر صمغ کتیرای قلبایی شده بر خواص نوری و مکانیکی اسناد کاغذی تاریخی. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران. ۹(۱۳۹۷)، ۲۲۲-۲۰۹.
25. J. M. Canadanovic-Brunet, S. M. Djilas, G.S. Cetkovic, V. T. Tumbas, Free-radical scavenging activity of wormwood (*Artemisia absinthium* L) extracts. *J. Sci. Food Agriculture*. 85(2005), 265-272.
26. R.A. Contreras, R. Cabrera, J. Burillo, Major components of Spanish cultivated *Artemisia absinthium* populations: Antifeedant, antiparasitic, and antioxidant effects. *Industrial Crops Products*. 37(2012), 401-407.
27. M. Mahmoudi, M. A. Ebrahimzadeh, F. Ansaroudi, S. F. Nabavi, S.M. Nabavi, Antidepressant and antioxidant activities of *Artemisia absinthium* L. at flowering stage. *African J. Biotechnol*. 8(2009).
28. U. Henniges, A. Potthast, Phytate treatment of metallo-

- gallate inks: Investigation of its effectiveness on model and historic paper samples. *Restaurator*. 29(2008), 219-234.
29. Marieflemy, Iron Gall Ink, <http://www.travelingscriptorium.library.yale.edu/2013/03/21/iron-gall-ink>, accessed online Mar. 2013.
30. V. Rouchon, M. Duranton, C. Burgaud, E. Pellizzi, B. Lavédrine, K. Janssens, W. de Nolf, G. Nuyts, F. Vanmeert and K. Hellemans, Room-temperature study of iron gall ink impregnated paper degradation under various oxygen and humidity conditions: time-dependent monitoring by viscosity and X-ray absorption near-edge spectrometry measurements. *Anal. Chem.* 83(2011), 2589-2597.
۳۱. نصرآبادی، کاغذ مواد تشکیل دهنده کاغذ و عوامل تخریب آن. *مجله پیام بهارستان*. ۱۰ (۱۳۸۰)، ۹-۱۰.
32. K. Msaada, N. Salem, O. Bachrouch, S. Bousselmi, S. Tammar, A. Alfaify, M. Hammami, Chemical composition and antioxidant and antimicrobial activities of wormwood (*Artemisia absinthium* L.) essential oils and phenolics. *J. Chemistry*. 2015(2015), 1-12.
33. E. Martuscelli, The Chemistry of Paper Conservation, <https://www.pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed073p417>, accessed online Mar. 2013.
۳۴. مسعودی نژاد، م. رضازاده آذری، مقایسه چهار روش مختلف استخراج تانن از میوه گونه‌های مختلف بلوط ایران. *مجله پژوهشی حکیم*. ۶ (۱۳۸۲)، ۸۱-۹۱.