



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
انستیتو پژوهشی علوم و فناوری رنگ

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ / ۳-۱۴ (۱۳۹۱)۲

نشر علمی ترویجی
مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

بررسی کارآیی آزمایش‌های شیمی‌تر در شناخت بست رنگ نقاشی سنتی ایران

امیرحسین کریمی^{۱*}، عباس عابد اصفهانی^۲، مهشید شیردوانی^۳

- ۱- دانشجوی دکترا، گروه پژوهشی مرمت آثار دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران، کد پستی: ۱۷۴۴
- ۲- دانشجوی دکتری مرمت آثار دانشگاه هنر اصفهان، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران، کد پستی: ۱۷۴۴
- ۳- کارشناس ارشد مرمت آثار دانشگاه هنر اصفهان، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران، کد پستی: ۱۷۴۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۳ تاریخ بازبینی: ۹۱/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۲۴

چکیده

بست یا ماده چسباننده، در مطالعات فنی آثار هنری همان Binder در متون شیمی رنگ است که وظیفه اتصال رنگدانه‌ها به یکدیگر و به سطح رنگ‌گذاری شده را به عهده دارد. دسته‌بندی کلی مواد بست در نقاشی سنتی ایران شامل صمغ‌های گیاهی (قندها)، مواد پروتئینی و مواد روغنی است. در این پژوهش با نظر به روش‌های شیمی‌تر در علوم آزمایشگاهی، دستورالعمل‌های تشخیص این مواد استخراج و بر مبنای آن‌ها آزمون‌هایی انجام شده است. برای تشخیص کارآمدی آزمون‌ها به جای روش کهنه‌سازی تسریعی، آزمون در سه مرحله انجام شد. در آغاز مواد خالص بست‌ها مورد آزمون قرار گرفت و برای هر دسته روش‌های شناسایی مشخص شد. در مرحله دوم چند نقاشی با بست‌های معلوم با قدمت بین ده تا ۱۱ سال مورد بررسی قرار گرفت و آزمون‌های پیشین برای نمونه‌ها تکرار شد. غیر از صمغ عربی در دیگر موارد همان نتایج به دست آمد. سپس بر روی نمونه‌های تاریخی با قدمت ۱۰۰ تا ۴۰۰ سال آزمون‌ها تکرار شد. در نتیجه‌گیری نهایی مشخص شد که به جز در مورد صمغ‌های گیاهی، بست‌های نقاشی ایرانی با تجزیه تر قابل تفکیک هستند. همچنین نتایج نشان داد که تفکیک در مورد نمونه بست‌های پروتئینی موفق‌تر است.

واژه‌های کلیدی

آزمون-بست، روغن‌ها، پروتئین‌ها، صمغ‌ها، نقاشی.



۱- مقدمه

هنوز استفاده می‌شود. آیبندر^۴ با آزمون حلالیت بست و تشخیص بست پروتئینی با تشخیص نیتروژن، فسفر و گوگرد قدمی دیگر در این مسیر برداشت. پس از مدتی پژوهش‌های فنی بر روی نقاشی‌های فلمانی در آزمایشگاه مرکزی موزه بلژیک^۵ توسط کورمن نتایج مطلوبی داشت [۲]. امروزه بیشتر آزمون‌های مواد آلی و بست‌ها که برای آثار هنری استفاده می‌شود، از آزمون‌های بیوشیمی و تشخیص طبی برداشت شده است. البته بین نمونه‌های بیوشیمی و نمونه‌های تاریخی تفاوت اساسی وجود دارد و برخی آزمون‌ها را برای مواد تاریخی باید تغییر داد. همچنین برخی آزمون‌ها لزوماً روی مواد تاریخی نتیجه ندارند. البته با پیشرفت فنون تجزیه دستگاهی، شناسایی مواد نقاشی با استفاده از آزمون‌های شیمی‌تر شاید کهنه و یا ناکارآمد به نظر برسد، اما از اولین تلاش‌ها برای شناسایی مواد نقاشی تا امروز، پژوهش‌گران درباره کارایی این روش‌ها در حال تحقیق‌اند. دلایل بسیاری را می‌توان برای تداوم استفاده از این روش‌ها برشمرد که از جمله آسان و در دسترس‌تر بودن روش‌های تجزیه شیمی‌تر نسبت به روش‌های دستگاهی، ارزان بودن مواد لازم برای انجام این آزمایش‌ها و استفاده از روش‌های شیمی‌تر در آموزش مدارج پایه را می‌توان عنوان کرد. همچنین در این آزمون‌ها قابلیت کنترل برخی خطاهای آزمایش نسبت به روش‌های دستگاهی بالاتر است. برخی آزمون‌ها با میزان اندک نمونه در شیمی‌تر قابل انجام است و تشخیص و تحلیل نتایج آسان‌تر است. البته امروزه به دلیل تاکید بر روش‌های روزآمد و نوی دستگاهی متون منابع در مورد این روش‌ها کمتر دیده می‌شود و مقالات بین‌المللی کمتر به آن اشاره دارند، اما استفاده از این روش‌ها همچنان ادامه دارد. به خصوص در بسیاری از موارد برای داشتن حدس و گمان اولیه برای انتخاب روش و شروع آزمون‌های دستگاهی از تجزیه تر استفاده می‌شود. در بسیاری از موارد میزان نمونه برای تجزیه شیمیایی تر از روش‌های دستگاهی کمتر است^۶. از سوی دیگر آزمون‌های دستگاهی در بسیاری از مواقع برای اطمینان از رفع نقائص به تکرار نیاز دارند که همین نیاز به نمونه بیشتر را پیش می‌آورد. به هر صورت هنوز هم آزمون غیر تخریبی مناسبی برای تشخیص بست‌های نقاشی که بتواند بدون نمونه‌برداری آزمون مواد آلی درون بافت نقاشی را فراهم کند، وجود ندارد.

⁴ Eibner

⁵ Laboratoire central des musées de Belgique

⁶ در بسیاری از منابع هنوز استفاده از این روش‌ها به عنوان روش تکمیلی توصیه شده است. برای مثال:

Dorothy Krotzer, Practice Points 6: Architectural Finishes Research and Analysis, APT Bulletin. 2008

در سال ۱۹۹۳ موسسه مرکزی مرمت آثار تاریخی در رم کارگاهی برای استفاده از این روش‌ها در شناسایی مواد تاریخی برگزار کرد که به صورت منبعی آموزشی نیز در منبع زیر منتشر شده است:

Borelli, E. Mural paintings: Conservation course-identification of binding media-lab notes-part1. Rome ICCROM/ 1993.

⁷ در طول همین پژوهش، آزمون بر روی نمونه‌های تاریخی به کوچکی ۰/۱۰۸ گرم، ۰/۰۱۵ گرم انجام شد.

آنچه در اصطلاح انگلیسی Binder، Medium یا Vehicle نامیده می‌شود، در فارسی به نام واسطه رنگ، بست، بستمان یا بستیمان خوانده می‌شود. بست جزء دوم مواد تشکیل دهنده رنگ نقاشی پس از رنگدانه است. بست ماده آلی چسبنده‌ای است که باعث پیوستگی ذرات رنگزا (رنگدانه و یا رنگینه) به هم و به سطح بستر نقاشی می‌شود. در متون هنری آنچه با عنوان روش اجرای نقاشی برای هر اثر ثبت می‌شود (برای مثال آبرنگ، رنگ و روغن و...) معمولاً به نوع بست اشاره دارد. در بررسی‌های شیمیایی برای شناسایی مواد نقاشی، تشخیص بست با مشکلاتی بیش از تشخیص رنگدانه همراه است. این مشکلات به سبب دگرگونی ساختار مواد آلی به مرور زمان و اندک بودن نسبت رنگدانه به بست اتفاق می‌افتد.

در منابع مربوط به مطالعات فنی آثار نقاشی حتی تا دهه ۱۹۷۰ بررسی‌های شیمی‌تر بیشتر در مورد رنگدانه‌ها توضیح داده می‌شد و محققین هنوز در برخی موارد به روش‌های درست و بهینه تجزیه بست دست نیافته بودند. در این منابع بررسی بست‌ها بیشتر با روش تشخیص بصری و یا آزمون‌های بسیار کلی انجام می‌شد که امروزه پیشرفت‌هایی در این مورد حاصل شده است.

به دلیل اندک بودن میزان بست نسبت به رنگدانه در نمونه‌هایی که از نقاشی‌های تاریخی برداشت می‌شود و البته به دلیل از میان رفتن ساختار اولیه مواد آلی در بسیاری از نمونه‌ها، بررسی بست‌ها به دقت و دانش ویژه‌ای نیاز دارد.

جرقه اولیه تعریف این بررسی تدوین و جمع‌آوری روش‌های تجزیه‌ای شیمی‌تر و ارائه به صورت یک مقاله مرجع یا جزوه درسی برای استفاده پژوهشگران آثار تاریخی و هنری بوده است. البته گوشزد کردن مشکلات و جزئیات روش‌ها و اینکه در بیشتر موارد باید با انجام چند آزمون به جواب برسیم، نکته‌ای دیگر بوده که در این مقاله مورد نظر قرار گرفته است. در مقاله‌ای که پیش از این با فهرست کردن روش‌های شناسایی بست ارائه شده بود [۱]، ۹ روش شناسایی بست‌ها مورد اشاره قرار گرفته و کلیاتی در مورد روش‌ها بیان شده بود. مقاله حاضر به ۲۱ روش آزمون بست اشاره می‌کند و با انجام این آزمون‌ها بر روی نمونه بست‌ها میزان کارایی روش‌ها سنجیده می‌شود. همچنین ترکیب این آزمون‌ها با هم برای رسیدن به تفکیک بیشتر بست‌ها مورد توجه قرار گرفته است.

۲- مبنای نظری آزمون‌های مورد استفاده

نخستین تلاش‌ها درباره شناسایی بست را اوستوالد^۱ در اوایل قرن بیستم انجام داد. وی آزمون‌های میکروسکوپی برای شناسایی بست و همچنین آزمون ایجاد لکه^۲ بر روی بست با استفاده از مواد معرف زیستی را آغاز کرد. این روش در گالری ملی نشنال گالری^۳ لندن پیشرفت داده شد و

¹ Ostwald

² Staining test

³ The National Gallery, London

دوباره قرار داد. برای مثال در نقاشی‌های ایرانی تنوع بست‌های صمغ گیاهی باید مورد نظر قرار گیرد. با بررسی آزمون‌های مورد استفاده شیمی‌تر که در منابع بیوشیمی ذکر شده و امروزه در آزمایشگاه‌های طبی کاربرد دارد و همچنین آزمایش‌هایی که در منابع شیمی آلی مواد تاریخی ذکر شده است، به روش‌هایی برمی‌خوریم که برای تشخیص بست‌های نقاشی نیز قابل استفاده هستند. از آنجا که به طور کلی بست‌های نقاشی در چهار گروه قندها (صمغ گیاهی)، بست‌های پروتئینی، روغن‌ها و موم طبقه‌بندی می‌شوند، آزمون‌های این مواد قابل استفاده در آثار هنری‌اند. از آنجا که موم در نقاشی سنتی ایرانی مورد استفاده نبوده یا حداقل تاکنون سندی از به‌کارگیری آن به دست نیامده، در پژوهش حاضر آزمون‌های شیمی‌تر در مورد انواع بست‌های قندی، پروتئینی و روغنی مطابق جداول ۱ تا ۳ زیر انجام گرفته است.

روشی که در پژوهش بر روی بسیاری از این آزمون‌ها به کار می‌رود، به‌کارگیری نمونه معلوم و تازه تهیه شده از بست‌ها است. روش دیگر استفاده از نمونه‌های بست کهنه‌سازی شده است. اما محققین همه این روش‌ها را قابل استفاده برای نمونه‌های واقعی تاریخی نمی‌بینند. چون در نمونه‌های کهنه‌سازی شده، بسیاری از پیوندهای شیمیایی شکسته و اگر روش بر اساس تشخیص این پیوندها باشد، چندان کارا نیست. همچنین نمونه‌های تازه تهیه شده دارای ویژگی‌های کاملاً مشابه نمونه‌های تاریخی نیستند. یکی از مقالات بررسی شده در این متن به همین دلیل نمونه‌های واقعی تاریخی را استفاده کرده است [۳]. روش‌های تجزیه شیمی‌تر هنوز در بررسی نقاشی‌ها استفاده می‌شوند و مقالات و منابع جدید نیز به آنها اشاره دارند. از سوی دیگر به دلیل تفاوت مواد نقاشی در مناطق مختلف جهان، باید آزمون‌های موجود را برای مواد هنری خاص هر دوره و جغرافیا به طور خاص مورد بررسی

جدول ۱- آزمون‌های مورد استفاده برای تشخیص قندها.

مراحل آزمون نام آزمون در منابع شیمی	آماده‌سازی نمونه	معرف	نتیجه صحیح
۱- مولیش [۴]	از ۰/۱ گرم نمونه پودر شده با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر در حمام آب جوش بست استخراج می‌شود. گاه برای نمونه تاریخی زمان حمام آب جوش تا چند ساعت طول می‌کشد.	محلول ۱۵٪ آلفا-فتول در الکل اتیلیک و چند قطره اسید سولفوریک غلیظ به طوری که دو فاز تشکیل شود.	پس از حدود ۵ دقیقه حلقه بنفش- صورتی در محل بین دو فاز ظاهر شده و با گذشت زمان پر رنگ می‌شود.
۲- ارتو تولوئیدین [۵، ۶]	روش کار مشابه نمونه قبلی است. پس از آبکافت با اسید سولفوریک غلیظ معرف را می‌افزاییم. می‌توان از آمونیاک (۱:۱) آب مقطر نیز استفاده کرد.	معرف مستقیم از شیشه قابل استفاده است. اما برای به دلیل تیرگی رنگ برای بهتر دیده شدن رنگ از محلول رقیق ۰/۱٪ با آب مقطر استفاده شد. لوله محتوی نمونه و معرف به مدت ۵ دقیقه در آب جوش قرار می‌گیرد.	رنگ سبزیی متفاوت از رنگ آبی خود معرف به وجود می‌آید با این حال وجود نمونه شاهد در کنار لوله آزمایش حاوی نمونه ضروری است.
۳- سیلوانف [۷]	مشابه آزمون مولیش	به نمونه چند قطره اسید هیدروکلریک ۶ مولار و سپس معرف رزورسینول اضافه می‌کنیم. معرف مستقیم از شیشه قابل استفاده است.	در لوله آزمایش رسوب قرمز رنگی تشکیل می‌شود.
۴- بندیکت [۷]	به چند قطره بست استخراج شده چند قطره سود اضافه می‌شود.	۱/۷۳ گرم سترات سدیم، ۱ گرم کربنات سدیم و ۰/۸ میلی لیتر آب با هم مخلوط می‌شود. ۰/۱۷۲ گرم سولفات مس را در ۱ میلی لیتر آب حل کرده به محلول فوق اضافه و به حجم ۱۰ میلی لیتر می‌رسانیم.	لوله آزمایش ۳۰ دقیقه در آب جوش قرار می‌گیرد. در لوله محتوی نمونه دارای قند، یک ماده قرمز رنگ ته نشین می‌شود.
۵- بارفود [۷]	مشابه آزمون مولیش	به نمونه محلول سولفات مس (II) و سود افزوده و لوله آزمایش را در آب جوش قرار می‌دهیم. گاه این حرارت دادن تا چند ساعت ادامه می‌یابد.	در لوله محتوی نمونه دارای قند، یک ماده قرمز رنگ ته نشین می‌شود.

جدول ۲- آزمون‌های مورد استفاده برای تشخیص روغن‌ها.

نام مراحل آزمون	آماده سازی نمونه	معرف	نتیجه صحیح
۱- متیل بنفش [۴]	یک قطره از ماده استخراج شده از نمونه با حلال آلی (برای مثال تری کلرواتیلن) یا نمونه روغن را روی لام کشیده و پس از خشک شدن آزمون انجام می‌شود.	یک قطره محلول غلیظ متیل بنفش در آب مقطر روی فیلم نمونه روی لام ریخته می‌شود. پس از چند لحظه اضافه متیل بنفش از روی فیلم بست شسته می‌شود.	لکه‌های بنفش روی نمونه حاوی روغن باقی می‌ماند. گاه لکه‌ها را باید زیر میکروسکوپ مشاهده کرد.
۲- پرمنگنات پتاسیم [۶]	یک قطره از ماده استخراج شده از نمونه با حلال آلی (برای مثال تری کلرو اتیلن) را در لوله آزمایش می‌ریزیم.	یک قطره محلول یک درصد پرمنگنات پتاسیم در آب مقطر به لوله افزوده می‌شود.	محلول پس از ۱ تا ۲ دقیقه به رنگ قهوه‌ای در می‌آید.
۲- آبی نایل (سدیم هیدروکسید و آمونیاک) [۸]	مشابه نمونه آزمون با پرمنگنات	نمونه را در محلول ۱:۱ آمونیاک و سدیم هیدروکسید حل کرده و محلول حاصل روی شیشه ساعت ریخته می‌شود. روی لکه باقی مانده پس از تبخیر حلال، چند قطره محلول یک درصد آبی نایل در استون ریختیم.	معرف به تنهایی با آمونیاک و هیدروکسید سدیم رنگ قرمز- بنفش ایجاد می‌کند اما با نمونه روغن باید رنگ قرمز- صورتی یا قرمز- نارنجی ایجاد کند.
۴- آبی نایل (استیک اسید) [۸]	مشابه نمونه آزمون با پرمنگنات	لام ۵ دقیقه در محلول ۱درصد آبی نایل در استون قرار داده و سپس به مدت ۳۰ ثانیه در استیک اسید ۱٪ به منظور تثبیت رنگ قرار می‌گیرد سپس لام با آب مقطر شسته می‌شود.	رنگ آبی متفاوت با رنگ آبی معرف ایجاد می‌شود با وجود این توصیه می‌شود برای اطمینان بیشتر آزمون روی نمونه شاهد نیز در کنار نمونه اصلی انجام شود.
۵- سودان بلاک بی [۳]	مشابه متیل بنفش	برای ساخت این معرف اتانول و آب مقطر را به نسبت ۶ به ۴ وزنی با هم مخلوط و با حل سودان بلاک در آن محلول اشباع معرف تهیه می‌شود. این معرف پس از چهار روز برای انجام آزمون مورد استفاده قرار داده می‌شود.	به این ترتیب که نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در معرف قرار می‌گیرد. سپس با آب و اتانول به نسبت ۶ به ۴ شستشو داده می‌شود. رنگ آبی با ته رنگ بنفش متفاوت از رنگ اولیه معرف تشکیل می‌شود.
۶- آبکافت بازی [۹]	مشابه نمونه آزمون با پرمنگنات	به نمونه ۱۰ میلی لیتر سود ۳ مولار اضافه کرده و در حمام آب جوش قرار می‌دهیم.	پس از حدود نیم ساعت روی سطح نمونه حالت کف صابونی ایجاد می‌شود.
۱۷- مولیبیدات آمونیوم [۹]	مشابه نمونه آزمون با پرمنگنات	معرف با محلول ساختن ۳ گرم آمونیوم مولیبیدات $(NH_4)_2MoO_4$ یا آمونیوم هپتامولیبیدات H_2O $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر که به آن ۲۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ افزوده‌ایم، ساخته می‌شود. نمونه سپس در حمام آب جوش قرار می‌گیرد.	ظهور رنگ زرد در نمونه حاوی فسفات

جدول ۳- آزمون‌های مورد استفاده برای تشخیص پروتئین.

نام آزمایش / مراحل آزمون	آماده سازی نمونه	معرف	نتیجه صحیح
۱- نین هیدرین [۱۰]	یک میلی لیتر محلول استخراج شده از لایه رنگ با حرارت دادن نمونه در محلول آب والکل ۱ به ۱ برای آزمون استفاده می‌شود. (برای نمونه‌های تاریخی) افزودن آب مقطر و چند قطره اسید سولفوریک غلیظ به نمونه و قرار دادن در حمام آب جوش نیز همین جواب مشابه را دارد.	محلول ۰.۲٪ تا نیم درصد نین هیدرین در استن یا اتانول به نمونه اضافه می‌کنیم و لوله آزمایش را در حمام آب جوش قرار می‌دهیم.	پس از حدود ۵ دقیقه باید رنگ بنفش ظهور کند.
۲- بیوره [۶، ۱۰]	کاغذ صافی را به ۱ میلی لیتر محلول استخراج شده از لایه رنگ به روش بالا آغشته می‌کنیم.	روی کاغذ صافی یک قطره محلول سولفات مس ۲٪ در آب می‌ریزیم سولفات مس اضافی را با کاغذ صافی دیگری جمع می‌کنیم، پس از چند دقیقه، یک قطره محلول ۱/۲ مولار (۵٪) هیدروکسید سدیم (یا پتاسیم) به روی لکه حاصل از نمونه می‌ریزیم	با افزودن هیدروکسید سدیم لکه بنفش شکل می‌گیرد ولی به دلیل شباهت رنگ سولفات مس با آن باید از شاهد در کنار نمونه استفاده شود
۳- میلیون [۱۰]	یک میلی لیتر محلول استخراج شده از لایه رنگ به روش بالا را روی لام شیشه‌ای می‌کشیم.	۲۰ گرم نیترات جیوه $[Hg(NO_3)_2]$ در محلول اسید نیتریک حاصل از مخلوط ۲۰ گرم اسید نیتریک و ۱۶۰ میلی لیتر آب مقطر ریخته می‌شود. سپس این معرف را با یک تا دو میلی لیتر نیترات سدیم یا پتاسیم یک درصد در آب مخلوط می‌کنیم.	نمونه بست خشک روی لام را به یک قطره معرف آغشته می‌کنیم و چند دقیقه حرارت می‌دهیم. رنگ قرمز آجری نشانه کازئین و قرمز رنگ پریده نشان از آلبومین است. شکل گیری رنگ زرد نمی‌تواند نشان از جواب مثبت آزمون باشد و تنها نشان می‌دهد که محلول زیاد قلبایی است
۴- آمونیوم مولیبدات (در حضور سود) [۱۱]	مشابه روش آماده‌سازی نمونه برای آزمون نین هیدرین	به نمونه چند قطره سود یک درصد اضافه می‌شود. سپس معرف با محلول ساختن ۳ گرم آمونیوم مولیبدات $(NH_4)_2MoO_4$ یا آمونیوم هپتامولیبدات $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.H_2O$ در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر که به آن ۲۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ افزوده‌ایم، ساخته می‌شود و به نمونه افزوده می‌شود.	پروتئین دارای اسید آمینه بیلی‌روبین باید در برابر این معرف به رنگ صورتی درآید.
۵- زانتوپروتئیک [۱۰]	مشابه روش آماده‌سازی نمونه برای آزمون نین هیدرین	برابر با مقدار نمونه به آن اسید نیتریک غلیظ اضافه می‌کنیم و لوله را مدت دو دقیقه در بشر آب جوش قرار می‌دهیم. پس از تغییر رنگ چند قطره سود ۱۰٪ می‌افزاییم.	تغییر رنگ محلول به زرد نشان از وجود اسید آمینه‌های تیروزین و تربیتوفان در پروتئین است.
۶- آزمون هاپکینز کول [۱۰]	مشابه روش آماده‌سازی نمونه برای آزمون نین هیدرین	یک قطره عصاره نمونه را از کنار لوله آزمایش داخل لوله حاوی اسید گلیوکسیک می‌ریزیم سپس اسید سولفوریک غلیظ در آخرین مرحله به آرامی و با خم کردن لوله اضافه می‌شود به طوری که دو فاز مخلوط نشود.	اگر نمونه مدتی ثابت و بی حرکت بماند در محل اتصال دو فاز حلقه بنفش تشکیل می‌شود. با گذشت زمان این حلقه پررنگ تر می‌شود.
۷- آزمون نیترو پروسید [۱۰]	مشابه روش آماده‌سازی نمونه برای آزمون نین هیدرین	۲ میلی لیتر سود ۳ مولار به نمونه می‌افزاییم و معرف نیتروپروسید به صورت محلول ۲٪ به نمونه افزوده می‌شود.	پروتئین حاوی اسید آمینه سیستئین در آزمون کمپلکسی قرمز رنگ پدید می‌آورد.

ادامه جدول ۳- آزمون‌های مورد استفاده برای تشخیص پروتئین.

مراحل آزمون نام آزمون	آماده سازی نمونه	معرف	نتیجه مثبت
۸- ارلیش [۱۱]	سود به نمونه افزوده می‌شود و با حرارت غیر مستقیم پس از هیدرولیز نمونه و سرد کردن آن آزمون انجام می‌شود.	سولفات مس II و آب اکسیژنه به محلول قبلی افزوده می‌شود. نباید آب اکسیژنه به بخش بالایی لوله تماس یابد. لوله ۵ دقیقه در حمام آب گرم قرار می‌گیرد. پس از سرد شدن یک قطره اسید سولفوریک و ۱ میلی‌لیتر معرف حاصل از یک گرم دی‌متیل آمینوبنزالدئید در ۲۰ میلی‌لیتر ۱-پروپانول افزوده می‌شود.	ظهور رنگ صورتی-قرمز ده دقیقه پس از افزودن معرف نشانگر وجود پروتئین دارای هیدروکسی پرولین است
۹- آزمون پونسواس [۳]	یک قطره ماده استخراجی از رنگ روی لام شیشه‌ای کشیده می‌شود. پیش از رنگ کردن، نمونه در حمام اسید استیک ۳٪ قرار می‌گیرد. همچنین از گرم کردن نمونه تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه نیز استفاده می‌شود.	پونسواس به صورت محلول ۳٪ در اسید استیک به کار می‌رود. معرف بهتر است یک روز پیش از انجام آزمون ساخته شده باشد. لام ۲۰ دقیقه در معرف می‌ماند.	رنگ نارنجی-قرمز در برابر نمونه دارای زرده تخم مرغ و رنگ صورتی-قرمز روشن در مورد سریشم.
۱۰- آزمون اسید تانیک [۱۱]	یک قطره ماده استخراجی از رنگ روی لام شیشه‌ای کشیده می‌شود. البته می‌توان آماده‌سازی نمونه را به شیوه آزمون با نین‌هیدرین نیز انجام داد.	محلول دو درصد اسید تانیک در آب مقطر	رسوب به رنگ سفید

در مورد آزمون بست‌ها و تشخیص انواع بست، تغییر ساختار بست‌ها پس از گذر زمان و ایجاد فرسودگی نکته‌ای مهمی است که باید همیشه در نظر باشد. به هر صورت ساختار آلی مواد بست که از ساختار رنگدانه‌های نقاشی متفاوت است، در برابر عوامل محیطی و تخریب حاصل از آن نیز رفتار متفاوتی دارد. در مورد این تخریب‌ها و تاثیر آن، پژوهش‌هایی انجام شده که معمولاً دو رویکرد آسیب‌شناسانه و فن‌شناسانه دارند. پژوهش در هر دوی این رویکردها معمولاً با کهنه‌سازی نمونه‌های معلوم به صورت مشابه‌سازی فرسودگی یا کهنه‌سازی تسریعی^۱ همراه بوده است. از آنجا که در پژوهش حاضر نیز جامع بودن روش‌های آزمون و قابلیت اجرا بر روی نمونه‌های تاریخی در نظر بوده‌است، برخی از این روش‌های کهنه‌سازی بررسی شدند تا الگوی به کار رفته در آنها ارزیابی شود و پس از بررسی در صورت وجود یک استاندارد واحد برای کهنه‌سازی نقاشی‌ها و نتایج مشابه از آن استاندارد، از آن تبعیت شود. یکی از مفصل‌ترین پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، حاصل کار هراند خانجیان^۲ و مایکل آر. شلینگ^۳ در موسسه آمریکایی حفاظت آثار هنری است که در ۱۹۹۶ منتشر شد [۱۳]. این پژوهش بخشی از مطالعه‌ای عمومی در مورد روش کروماتوگرافی گازی در بررسی بست‌های پروتئینی است.

هدف اصلی این پژوهش، بررسی بست‌های خاص نقاشی سنتی ایرانی بود، بنابراین بررسی‌های آزمایشگاهی با انتخاب مواد مورد آزمون آغاز شد. برای یافتن مواد به کار رفته به عنوان بست در نقاشی ایرانی چند منبع مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. این منابع عبارت بودند از رسالات کهن در مورد خوشنویسی و نقاشی ایرانی و مقالات حاصل از بررسی‌های آزمایشگاهی جدید بر روی آثار تاریخی. البته این بخش خود مطالعه جداگانه‌ای می‌طلبید که پیش از این انجام شده بود [۱۲]. در این مطالعه فهرستی از بست‌های نقاشی ایرانی تهیه شده بود که بر مبنای ذکر شدن بیشتر در منابع به این شرح است:

صمغ عربی - انزروت - صمغ درختی (درختان میوه) - سپیده تخم مرغ - زرده تخم مرغ - سریشم - روغن کنجد - روغن کتان
به جز این چند بست، کتیرا و سریش را نیز برخی نویسندگان بدون ارائه سندی یا انجام آزمایش به عنوان بست‌های دیگر معرفی می‌کنند. در منابع در مورد هیچ‌یک از این بست‌ها روش فرآوری خاصی ذکر نشده است و احتمالاً این بست‌ها تنها در زمان به کارگیری کمی خالص‌سازی می‌شده‌اند. برای نمونه‌سازی از نمونه‌های این مواد که در بازار، به خصوص در عطاری‌ها موجود بود استفاده شد.

در مورد روغن‌ها اگرچه این روغن‌ها امروزه به صورت صنعتی نیز تهیه می‌شود، اما سعی شد انواع دارای ناخالصی و تصفیه نشده از عطاری‌ها تهیه شود. در گذشته روغن مورد و گردو نیز در ایران مرسوم بود که به فهرست افزوده شد.

¹ Accelerated ageing or artificial ageing

² Herant Khanjian

³ Michael R. Schilling

در این پژوهش برای بررسی اثر گرما و نور بر روی بست پروتئینی، رنگ‌های مخلوط‌شده با زرده تخم مرغ و سریشم پوست خرگوش بر روی صفحات شیشه‌ای زده شد و سپس ۹ ماه در دمای اتاق خشک شد. یک گروه از نمونه‌ها در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد برای ۶ هفته کهنه‌سازی شد و گروه دیگری در یک محیط بسته در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵۰ درصد به مدت ۵۰۰ ساعت قرار گرفت. گروه سوم در شرایط معمولی نور رطوبت و دما قرار گرفت [۱۳]. در مقاله مذکور، مرجعی برای طراحی آزمایش و روش کهنه‌سازی ذکر نشده و آزمون بر اساس بررسی‌های خود نویسندگان طراحی شده است.

یکی دیگر از منابع مهم در مورد نسبت فرسودگی بست‌ها با نتایج آزمایشات را ریموند میلوناس^۱ و همکاران او در ۱۹۹۰ منتشر کرده‌اند [۱۴]. در این مقاله تفاوت بین طیف حاصل از نمونه بست‌های قرار گرفته در شرایط عادی فرسودگی و شرایط کهنه‌سازی مصنوعی بررسی شده و نتیجه متفاوت بین این دو گروه نمونه تحلیل شده است. در مرکز مرمت موزه هنر فوگ نمونه‌هایی از رنگ همراه با بست بین سال‌های ۱۹۲۹ و ۱۹۳۳ توسط جتنز تهیه و مستند شدند. این نمونه‌ها که روی صفحات شیشه‌ای در شرایط عادی موزه‌ای قرار داشتند، پس از ۵۰ سال مورد آزمایش قرار گرفتند [۱۴]. هم‌زمان با آزمون نمونه‌های ۵۰ ساله مطابق همان دستورالعمل ثبت شده جتنز نمونه‌های تازه‌ای تهیه شدند و در معرض هوا در در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و سپس تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرد شدند.

۳- مراحل اجرایی پژوهش

در این پژوهش نخست نمونه‌های خالص مواد مورد استفاده در نقاشی ایرانی به عنوان بست آزمایش شد تا تفاوت روش آزمون در مورد این مواد را با دستورالعمل‌های تشخیص ذکر شده در منابع دریابیم. در مرحله دوم چند نمونه معلوم با قدمت حدود ده تا پانزده سال که روش ساختشان مستند شده بود و اطلاعات کافی در موردشان وجود داشت، برای بررسی انتخاب شدند. سعی شد از هر گروه بست نقاشی ایرانی یک نمونه برای این مرحله انتخاب شود. در مرحله سوم نمونه‌های برداشت شده از بناهای تاریخی دارای نقاشی با سعی در انتخاب از هر سه گروه بست‌ها انتخاب و بررسی شدند تا صحت روش‌های مورد مطالعه در مورد نمونه‌های واقعی نیز سنجیده شود.

نمونه‌ها در این پژوهش با هم مقایسه شدند و مشاهده شد که میزان تخریب نمونه‌ها در شرایط عادی بیشتر از کهنه‌سازی تسریعی بوده است. این مقاله تا حدودی فرآیند تخریب کهنه‌سازی مصنوعی و مشابه‌سازی آن با تخریب واقعی را زیر سوال می‌برد و قائل به تفاوت فرآیند آسیب در این دو است. در پژوهشی دیگر اثر تخریبی نور و حرارت و رطوبت بر روی ورنی ماستیک سنجیده شده است. در این مقاله که در سال ۱۹۹۲ انتشار یافته نمونه‌های مورد مطالعه تحت کهنه‌سازی تخریبی قرار گرفته‌اند. کهنه‌سازی در مورد این نمونه‌ها در مرحله اول با نور انجام گرفت به این صورت که نمونه‌های پوشش داده شده با ورنی بر روی سقف گالری تیت در جعبه نور قرار گرفتند. چگونگی قرارگیری این جعبه‌ها به صورتی بود که بیشترین میزان تابش آفتاب در روز را داشته باشند. رطوبت نسبی بین ۴۵ تا ۷۰٪ متغیر بود و دمای حداکثر داخل جعبه به ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسید. این شرایط به مدت ۹۶ روز ادامه داشت. در مرحله دوم نمونه‌ها برای بررسی تخریب دمایی در آن با دمای ۶۰ تا ۶۲ درجه و رطوبت نسبی حدود ۵۲٪ قرار گرفتند. سعی شد رطوبت نسبی متغیر نباشد. این شرایط برای چهار روز ادامه داشت [۱۵].

۳-الف- نتایج مرحله اول آزمون‌ها

آزمایش بر روی نمونه خالص بست‌ها، نشان داد که برخی از آزمون‌ها به خوبی در مورد نمونه‌ها قابل استفاده هستند ولی برخی از آزمون‌ها پاسخ بسیار ضعیف یا شک‌برانگیزی دارند. در مورد آزمون‌های مربوط به مواد قندی آزمایش مولیش و معرف ارتو تولوئیدین به خوبی پاسخ‌گو بودند ولی آزمون‌های سیلوانف، بارفود و بندیکت با حساسیت کمتر و محدودتر به برخی نمونه‌ها پاسخگو نبودند. در مورد نمونه‌های روغن، پرمنگنات پتاسیم و متیل بنفش پاسخ بسیار خوبی داشتند. آبی نایل بین روغن‌های مختلف تا حدودی تفکیک ایجاد می‌کرد و آزمون‌های سودان بلاک و آبکافت بازی نیز برای تمام نمونه‌ها جوابگو بود. ضعیف‌ترین پاسخ مربوط به آزمون مولیبدات آمونیم بود. در مورد آزمون پروتئین‌ها آزمون‌های نین‌هیدرین، پونسواس، زانتوپروتئیک، هاپکینز-کول و بیوره به خوبی جوابگوی نمونه‌ها بودند ولی آزمون میلیون، اسیدتانیک و آمونیم‌مولیبدات در حضور سود تنها به برخی نمونه‌ها جواب دادند. آزمون نیتروپروسید و اریلیش به هیچ نمونه‌ای جواب ندادند و از فهرست آزمون‌های بعدی حذف شدند.

در یک بررسی دیگر [۱۶] مخلوط بست و رنگدانه با قلم‌مو بر روی لام شیشه‌ای زده شد تا فیلم رنگی به ضخامت ۴۰ تا ۵۰ میکرومتر پدید آید و سپس رنگ در فضایی بسته به مدت ۲۰ روز گذاشته شد تا خشک شود. کهنه‌سازی نوری به مدت ۶۰۰ ساعت با یک لامپ زنون با فیلتر

در یک بررسی دیگر [۱۶] مخلوط بست و رنگدانه با قلم‌مو بر روی لام شیشه‌ای زده شد تا فیلم رنگی به ضخامت ۴۰ تا ۵۰ میکرومتر پدید آید و سپس رنگ در فضایی بسته به مدت ۲۰ روز گذاشته شد تا خشک شود. کهنه‌سازی نوری به مدت ۶۰۰ ساعت با یک لامپ زنون با فیلتر

^۱ Meilunas Raymond J

از یکدیگر و روغن کنجد و روغن بزرک از یکدیگر) با مشکل همراه است. با نظر به نتایج به دست آمده در مرحله اول می‌توان توصیه‌هایی به صورت زیر ارائه داد:

۱. در نمونه برداری حداکثر دقت باید انجام شود تا در نمونه لایه بستر و رنگ با هم مخلوط نشود.
 ۲. اولین آزمون برای شروع بررسی بهتر است آزمون مولیش باشد.
 ۳. بهتر است پیش از شروع آزمون بر مبنای ویژگی‌های بصری یا حلالیت رنگ، حدس و گمان‌هایی در نظر داشت.
 ۴. بهتر است آزمون روی نمونه به همراه آزمون شاهد انجام گیرد تا رنگ خود معرف‌ها اشتباهی به وجود نیآورد.
 ۵. برای آزمون بست روغنی، پروتئینی و صمغ باید قطعا به روش آماده‌سازی نمونه و حل کردن نمونه در حلال‌ها توجه داشت.
 ۶. انجام تنها یک آزمایش برای شناسایی (برای مثال مولیش یا نین‌هیدرین) قابل اتکا نیست و نمی‌تواند نشان‌دهنده بست خاصی باشد.
- در نهایت روشی که برای رسیدن به نتیجه توصیه می‌شود را می‌توان به صورت جدول ۵ ارائه شود.

اگرچه در آزمون متیل بنفش هم لکه‌های رنگی بر روی سفیده دیده شدند. در مقابل آزمون قندها با مولیش هر دو نمونه سفیده و زرده پاسخ مثبت داشتند. همین ویژگی دوگانه در انزروت نیز دیده می‌شد. چنان‌که انزروت در مقابل آزمون‌های مربوط به دسته روغن‌ها در بیشتر موارد (به جز مولیبدات آمونیم و آبکافت بازی) پاسخ مثبت داد.

همچنین با نظر به اینکه در نقاشی ایرانی معمولاً سریشم به تنهایی به کار نمی‌رود و با ماده‌ای قندی مخلوط می‌شود، ترکیب سریشم و شیره نیز تحت آزمایش قرار گرفت که به تمام آزمون‌های مواد قندی پاسخ مثبت داشت. با جمع‌بندی آزمون‌های انجام شده بر روی نمونه‌های غیر تاریخی، قدرت تفکیک نسبی آزمون‌های شیمی تر را می‌توان در بررسی بست‌های نقاشی ایرانی به کار گرفت.

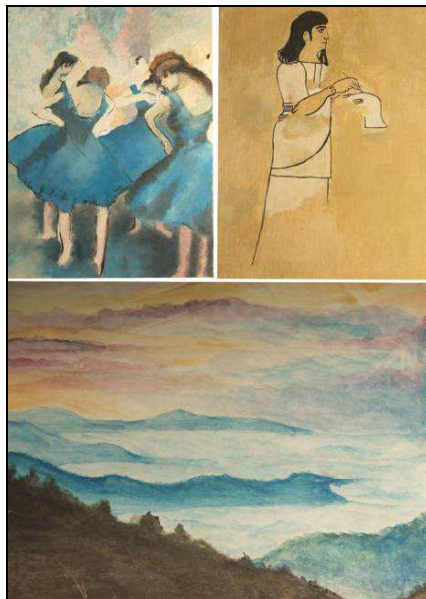
در واقع با به کارگیری مجموعه‌ای از آزمون‌ها می‌توان به نوع ماده به کار رفته دست یافت. این آزمون‌ها البته با یک حدس و گمان اولیه برای دسته‌بندی بست‌ها آغاز می‌شود که مبنای انتخاب آزمون اول است. (آزمون اول بایستی بالاترین قدرت تفکیک بین دسته‌های اصلی تشکیل دهنده بست‌ها را داشته باشد) سپس می‌توان آزمون‌های بعدی را به ترتیب انجام داد که حداکثر با ۵ آزمون به تفکیک نهایی خواهیم رسید. با بررسی نتایج این آزمون‌ها در تفکیک ۴ نوع از بست‌ها (صمغ و کتیرا

جدول ۵- پیشنهاد آزمون‌های شیمی‌تر برای بست‌های نقاشی ایرانی بر اساس آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های خالص تازه. (راهنما: + جواب مثبت و - جواب منفی).

مرحله آزمون نوع بست	۱	۲	۳	۴	۵
سفیده تخم مرغ	آزمون مولیش +	آزمون با نین هیدرین +	آزمون با پرمنگنات پتاسیم -	آزمون با هپتا مولیبدات در شرایط اسیدی +	
زرده تخم مرغ	آزمون مولیش +	آزمون با نین هیدرین +	آزمون با پرمنگنات پتاسیم +		
سریشم و شیره	آزمون مولیش +	آزمون با نین هیدرین +	آزمون با آمونیم هپتا مولیبدات در شرایط بازی-	آبی نایل یا پرمنگنات -	
انزروت	آزمون مولیش +	آزمون با نین هیدرین -	آزمون آبی نایل یا پرمنگنات پتاسیم +		
کتیرا(مشابه صمغ عربی)	آزمون مولیش +	آزمون با نین هیدرین -	آزمون آبی نایل یا پرمنگنات پتاسیم -	آزمون بندیکت -	آزمون سالیوانف +
سریش	آزمون مولیش +	آزمون با نین هیدرین -	آزمون آبی نایل یا پرمنگنات پتاسیم -	آزمون بندیکت +	آزمون سالیوانف +
صمغ عربی (مشابه کتیرا)	آزمون مولیش +	آزمون با نین هیدرین -	آزمون آبی نایل یا پرمنگنات پتاسیم -	آزمون بندیکت -	آزمون سالیوانف +
صمغ درختی(مشابه کتیرا)	آزمون مولیش +	آزمون با نین هیدرین -	آزمون آبی نایل یا پرمنگنات پتاسیم -	آزمون بندیکت -	آزمون سالیوانف +
سریشم بدون شیره	آزمون مولیش -	آزمون با نین هیدرین +	آزمون با آمونیم هپتا مولیبدات در شرایط بازی -	آزمون آبی نایل یا پرمنگنات پتاسیم -	

ادامه جدول ۵- پیشنهاد آزمون‌های شیمی‌تر برای بست‌های نقاشی ایرانی بر اساس آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های خالص تازه.

۵	۴	۳	۲	۱	مراحل آزمون نوع بست
		آزمون با آمونیم هیتا مولیبدات در شرایط بازی -	آزمون آبی نایل در حضور سود (رنگ قرمز - نارنجی)	آزمون مولیش -	روغن کنجد (مشابه روغن بزرک)
		آزمون با آمونیم هیتا مولیبدات (محیط بازی) -	آزمون آبی نایل در حضور سود (رنگ قرمز - نارنجی)	آزمون مولیش -	روغن بزرک (مشابه روغن کنجد)
		آزمون با آمونیم هیتا مولیبدات (محیط بازی) -	آزمون آبی نایل در حضور سود (رنگ آبی)	آزمون مولیش -	روغن مورد
		آزمون با آمونیم هیتا مولیبدات (محیط اسیدی) -	آزمون آبی نایل در حضور سود (رنگ قرمز - نارنجی)	آزمون مولیش -	روغن کتان



شکل ۱- نمونه‌های آزمون شده با قدمت ۱۰ سال- بالا راست بست تخم‌مرغی، بالا چپ بست روغنی، پایین بست صمغ (عکس از نگارنده).

۳-ب- انجام آزمون بر روی نمونه‌های با قدمت حدود ده سال

در مرحله دوم آزمون‌ها، از نمونه‌هایی معلوم کردیم و در هر دسته با نظر به نتایج قبلی سعی شد تفکیک انجام گرفته در مرحله قبلی در مورد این نمونه‌ها نیز به دست آید. این نمونه‌ها پیش از این با مصالح سنتی یا مشابه مصالح سنتی اجرا و همراه با مستند نگاری مراحل اجرایی، ساخته شده بودند شکل ۱. اگرچه فضای نگهداری و شرایط محیطی این سه نقاشی در مدت ده سال یکسان نبود، اما شباهت نسبی این نقاشی‌ها نسبت به تفاوت‌ها بیشتر بود و نیز از حیث فرسودگی در شرایط طبیعی برای سنجش صحت آزمون‌ها قابل استفاده بود. اولین نقاشی با آبرنگ وینزر و نیوتن^۱ در سال ۷۹ اجرا شده و مواد به کار رفته در آن مشخص بود (شکل ۱ پایین). این نقاشی به مدت ۵ سال در دمای اتاق بر روی دیوار نصب بوده و در حدود پنج سال نیز در یک فضای در بسته نگهداری می‌شد. مطابق آنچه از مواد به کار رفته در ساخت آبرنگ در سایت اینترنتی

شرکت وینزر و نیوتن آمده، این شرکت هنوز از صمغ عربی مربوط به منطقه کوردوفان^۲ سودان به عنوان بست در قرص‌های آبرنگ استفاده می‌کند [۱۷]. بنابراین نقاشی مذکور را به عنوان نقاشی با بست مشخص صمغ عربی در نظر گرفته شد تا درستی آزمون‌های تشخیص صمغ عربی بر آن سنجیده شود. برای انجام آزمون ۰/۰۲۵ گرم از نمونه در آب مقطر ریخته شد و لوله آزمایش به مدت ۱۲ ساعت در حمام آب جوش قرار گرفت. سپس آزمون‌های مولیش- تولوئیدین بلو، بندیکت، سیولوف و بارفود مطابق دستور کار شناسایی قندها بر روی بست استخراج شده انجام گرفت. برای آزمون نقاشی با بست روغنی از یک نقاشی که در سال ۱۳۷۹ اجرا شده و مواد به کار رفته در آن مستند شده بود، استفاده شد. این نقاشی به مدت ده سال در محیط گرم زیرزمین با دمای تقریباً ۳۰ درجه (تقریباً بدون نور مصنوعی) نگهداری شده بود (شکل ۱ بالا چپ). نقاشی با پودر رنگ همراه با روغن بزرک بر روی بستر ساخته شده از مل و سینکا به همراه سریشم و شیره انگور و

² Kordofan

¹ Winsor and Newton

آزمون سیلوانف به آن اندازه نیست که بتوان با آن بست صمغ دارای قدمت ده سال را شناسایی کرد. از سویی آزمون قندها بر روی نقاشی دارای بست سریشم و شیره نشان داد که شیره موجود در بست به راحتی در آزمون قندها نتیجه مثبت حاصل می‌کند و بنابراین آزمون قندها به تنهایی برای اثبات نمونه‌های قندی نمی‌تواند نتیجه‌بخش باشد. بنابر این تا مرحله آزمون نقاشی‌های دارای قدمت ۱۰ سال می‌توان گفت که به جز در مورد نقاشی با بست صمغ گیاهی، در باقی موارد از قدرت تفکیک آزمون شیمی‌تر برای تفکیک نوع بست می‌توان استفاده کرد. در حقیقت این روش به خوبی در مورد بست‌های پروتئینی و روغنی قدرت تفکیک دارد.

۳-ج- انجام آزمون بر روی نمونه‌های تاریخی

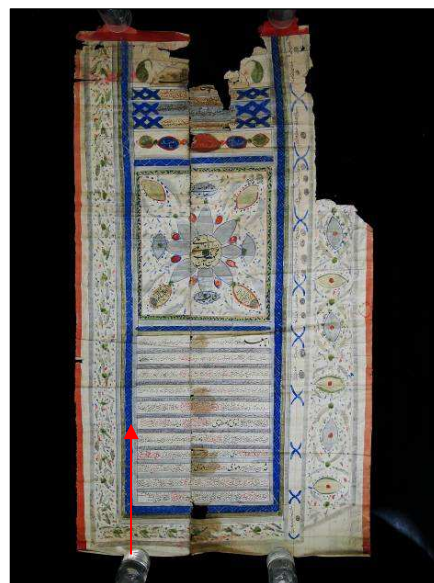
۳-ج-۱- آزمون های شیمی تر بر روی نمونه سند ۱۳۱۳ هجری

در این مرحله از بررسی‌ها یک نمونه قبالة ازدواج تزیین شده با خط‌کشی سبز و آبی و طلا اندازی که تاریخ ۱۳۱۳ هجری داشت، به عنوان نمونه تاریخی انتخاب شد (شکل ۲). برای نمونه‌برداری از دو رنگ سبز و آبی نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری از بخش‌های تخریب شده حاشیه کاغذ به اندازه بسیار کوچکی صورت گرفت. به سبب آنکه در نسخ خطی و به خصوص تذهیب در متون کهن^۱ و حتی روش‌های سنتی حفظ شده نزد استادان امروزی، صمغ‌های گیاهی عمده‌ترین بست‌های مورد استفاده هستند، با گمان صمغ بودن بست نمونه آزمون‌ها آغاز شد. در مرحله اول آزمون‌های شیمی‌تر بر روی رنگ آبی نمونه انجام گرفت. برای انجام آزمون مولیش و آزمون پروتئین با نین‌هیدرین و سیلوانف ۰/۱۰۸ گرم از نمونه را در لوله آزمایش ریختیم و به آن کمی آب مقطر اضافه کردیم. لوله آزمایش را به مدت ۱۲ ساعت در حمام آب جوش قرار دادیم. سپس آزمون‌ها بر روی بست استخراج شده انجام شد.

اندکی فنل اجرا شده بود. از لایه رنگ نمونه برداری و دقت شد که بستر به همراه لایه رنگ جدا نشود. مقداری از نمونه به صورت پودر نگه داری شد و بقیه در لوله آزمایش ریخته و روی آن تری کلرو اتیلن اضافه شد. در لوله آزمایش را بسته و نمونه را به مدت ۷۲ ساعت در تری کلرو اتیلن گذاشتیم تا روغن در آن حل شده و استخراج شود. سپس فاز مایع در شیشه ساعت ریخته شد تا حلال تبخیر شود و فیلم روغن استخراج شده روی شیشه ساعت باقی بماند. برای انجام آزمون بر روی نقاشی با بست سریشمی با قدمت ده سال، مقداری از بستر نقاشی قبلی را با تیغ تراشیده در لوله آزمایش ریختیم و به آن کمی آب مقطر اضافه کرده، روی بن ماری حرارت دادیم. آزمون‌ها را بر روی عصاره استخراج شده از بستر انجام دادیم. از آنجا که در هنگام بست‌سازی برای حفظ انعطاف بستر اندکی شیره با سریشم مخلوط شده بود، آزمون شناسایی قندها نیز بر روی بستر سریشمی انجام گرفت. ۰/۱ گرم نمونه از بستر نقاشی برداشته و تمام آزمون‌ها بر روی آن انجام شد. نمونه را در لوله آزمایش ریختیم. ۲ میلی لیتر آب مقطر و چند قطره سولفوریک اسید به آن اضافه کردیم و به مدت ۴ ساعت در حمام آب جوش قرار دادیم. سپس از فاز محلول برای انجام آزمون‌های مولیش، تولوئیدین بلو و بارفود استفاده شد. برای آزمون نمونه‌های نقاشی با بست تخم مرغی، از یک نقاشی که در سال ۱۳۷۹ با بست زرده تخم مرغ و پودر رنگ اجرا شده بود، استفاده شد. بستر سازی نقاشی با سریشم و شیره انجام شده بود (شکل ۱ بالا راست). بر روی لایه رنگ آزمون‌های شناسایی روغن‌ها و پروتئین‌ها و بر روی لایه بستر آزمون‌های شناسایی پروتئین‌ها انجام گرفت. شرایط نگه داری این نقاشی نیز با نقاشی قبلی مشابه بود. نتیجه کلی آزمون بر روی نقاشی‌های با قدمت ده سال، تطابق نتایج آزمون‌های انجام شده بر نتایج آزمون روی نمونه خالص بست‌ها در بیشتر موارد است. در واقع قدمت اثر (حداقل تا ۱۰ سال) و وجود رنگدانه همراه با بست در نمونه‌ها باعث نشده که اختلاف عمده‌ای بین نتایج این مرحله با مراحل قبلی حاصل شود.

تنها مورد تغییر در نتایج در آزمون سیلوانف بر روی صمغ عربی افتاده که این بست تنها به آزمون مولیش و ارتو تولوئیدین جواب داده است و حساسیت

^۱ بدان که رنگ‌ها که خواهند بر کاغذ به کار برند او را به آب صمغ عربی باید آمیختن (افشار، ایرج، فرهنگ ایران‌زمین، جلد ۵، ص. ۳۴۵)



شکل ۲- نمونه تاریخی اول، سند دارای حاشیه تزیینی- تاریخ سند ۱۳۱۳ قمری- محل نمونه برداری مشخص شده است (عکس از نگارنده).

۳-ج-۲- آزمون‌های شیمی‌تر بر روی نمونه نقاشی دیواری صفوی

در این مرحله برای آزمون یک نمونه تمپرای^۱ تاریخی از یک نقاشی دیواری صفوی که خوشبختانه مرمت و موزون‌سازی نشده بود نمونه‌برداری کردیم (شکل ۳). این نقاشی در ازاره کاخ تاریخی هشت‌بهشت اصفهان دورنمایی از طبیعت را نشان می‌داد. این نقاشی در اتاق جنوب غربی بنا زیر لایه‌های از اندود و تزیینات دوره قاجار قرار داشته که در مرمت‌های دهه پنجاه شمسی لایه‌برداری شده بود. در این مورد نمونه‌برداری پس از پاک کردن پوشش احتمالی اثر با استن، از رنگ سبز تیره و قهوه‌ای که در درختان نقاشی دیده می‌شد، انجام گرفت. به دلیل آنکه در متون تاریخی و هم در مقالات جدید از بست تخم مرغی به عنوان بست اصلی نقاشی‌های دیواری صفوی نام برده شده، [۱۸، ۱۹] گمان ما در مورد این اثر نیز استفاده از بست تخم‌مرغی بود. برای انجام آزمون مولیش و آزمون پروتئین با نین‌هیدرین ۰/۱۵ گرم از نمونه در لوله ریخته شد و به آن کمی آب مقطر و دو قطره اسید سولفوریک اضافه گردید. لوله آزمایش به مدت ۱۲ ساعت در حمام آب جوش قرار داده شد. سپس آزمون بر روی بست استخراج شده انجام گرفت.

^۱ Tempera

۳-ج-۳- آزمون بر روی نمونه نقاشی دیواری احتمالاً قاجاری نقاشی دیواری با بست روغنی آخرین نمونه‌ای بود که در پژوهش حاضر نیاز به بررسی و تعیین وضعیت آن داشتیم. برای آنکه نمونه تاریخی با بست احتمالاً روغنی را شناسایی کنیم. نمونه‌ای از رنگ شره کرده در نقاشی دیواری تعمیرات مسیح در نمازخانه سن استپانوس اصفهان که به نظر می‌رسید در تعمیرات نقاشی‌های این بنا به آن افزوده شده، مورد بررسی قرار دادیم (شکل ۴). در این نقاشی که در سمت جنوب محراب نمازخانه قرار داشت، شره‌های روغنی بسیار دیده می‌شد. اگرچه اصل بنا و نقاشی‌های محراب آن مربوط به دوره صفوی است، اما بسیاری از نقاشی‌های دیگر بنا به نظر می‌رسد پس از این دوره به بنا افزوده شده باشد. در آماده‌سازی نمونه به عنوان حلال از تری‌کلرواتیلن برای حل کردن و استخراج نمونه استفاده کردیم و سپس آزمایش‌ها بر روی لکه استخراج شده پس از تبخیر حلال انجام شد.

۴- جمع‌بندی و تحلیل بررسی‌ها

با جمع‌بندی نتایج حاصل از نمونه‌های تاریخی و مقایسه با نتایج حاصل شده در مراحل قبل، می‌توان نتیجه گرفت که:

الف- در مورد نمونه‌ای که گمان ما بر بست صمغ بود تمام نتایج با نتایج حاصل در مورد بست‌های صمغ گیاهی هم‌خوانی داشت. در مورد آزمون سیلوانف و بندیکت که نمونه‌های جدید قندی جوابگو بودند، عدم توانایی در مورد نمونه ده‌ساله نیز دیده می‌شد.



شکل ۳- نقاشی دیواری صفوی ازاره اتاق جنوب غربی کاخ هشت بهشت، محل نمونه برداری در تصویر مشخص شده است (عکس از نگارنده).



شکل ۴- غسل تعمید مسیح، نقاشی موجود بر دیوار نمازخانه سنت استپانوس، محل نمونه برداری مشخص شده است (عکس از نگارنده).

حساسیت معرف به میزان اندک نمونه بسیار مهم است این آزمون‌ها نسبت به دیگر آزمون‌ها در مورد اشیای تاریخی برتری دارند. در نهایت می‌توان جمع‌بندی مطرح شده در جدول شماره ۲ را به عنوان راهنمایی برای شناسایی بست‌ها صحیح دانست. اگرچه نتایج مطرح شده در مورد تفکیک انواع بست‌های صمغ گیاهی در مورد نمونه‌های تاریخی قابل استناد نیست. به هر صورت این آزمون‌ها در مورد تفکیک اولیه بست‌ها به طور قطع کارآمد و در تفکیک بیشتر بست‌ها به خصوص در مورد بست‌های پروتئینی بسیار کارآمد هستند. در مورد تفکیک بیشتر صمغ‌ها و روغن‌ها روش کروماتوگرافی توصیه می‌شود که قطعاً باید به برنامه آموزشی آزمایشگاه رنگ افزوده شود. این مقاله برگرفته است از گزارش طرح پژوهشی با عنوان: "بررسی کارایی روش‌های آنالیز تر در شناسایی بست‌های نقاشی ایرانی" با شماره طرح ۸۹۷-۹ که با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه هنر اصفهان تهیه شده و در دفتر معاونت پژوهشی دانشگاه هنر اصفهان موجود است.

تشکر و قدردانی

نگارندگان در اتمام پژوهش از همکاری صادقانه معاونت پژوهشی دانشگاه هنر اصفهان و خانم مهری قبادی از آزمایشگاه دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان تشکر می‌کنند. در مورد نمونه‌های تاریخی نیز از آقای محمد شهرباف و سرکار خانم مینا صفیایان سپاسگزاریم.

بنابراین می‌توان گفت که جواب مثبت نمونه به آزمون‌های مولیش و ارتوتولوئیدین و عدم جوابگویی به آزمون آبی نایل^۱ و نین هیدرین^۲ نشان از بست صمغ گیاهی دارد ولی نوع صمغ در این مورد قابل تشخیص نیست.

ب- در مورد نمونه‌ای که حدس ما بست پروتئینی بود، نتایج آزمون‌ها نشان از بست زرده تخم مرغ داشت. در واقع جواب مثبت به تمام آزمون‌های پروتئین، قند، روغن و فسفات می‌تواند بست زرده تخم‌مرغ را اثبات کند. با نظر به نتایجی که از نمونه‌های تازه تهیه شده حاصل شده است، می‌توان گفت که آزمون‌های شیمی تر تفکیک کامل و درستی در مورد بست‌های پروتئینی دارند و به خوبی در مورد این دسته، بست سریشمی- سریشم و شیر- زرده و سفیده تخم مرغ را از هم تفکیک می‌کنند.

ج- در مورد نمونه احتمالاً قاجاری نیز نتایج با بست روغنی هم‌خوانی داشت و عدم وجود قند و پروتئین در نمونه نیز مشخص شد که نتایج منفی این آزمون‌ها روغنی بودن بست را اثبات می‌کند. همچنین نتایج با نتایج بست روغن بزرک در نمونه با قدمت ۱۰ سال نیز برابر است.

د- در میان آزمون‌های گفته شده، آزمون مولیش- نین‌هیدرین- آمونیم هپتامولیدات- آبی نایل- ارتوتولوئیدین- پرمنگنات پتاسیم و اسید تانیک از باقی آزمون‌ها نتایج بهتر و حساسیت بهتری داشتند. از آنجا که برای نمونه‌های تاریخی

¹ Nile Blue
² Ninhydrin

۵- مراجع

۱. ا. کریمی- غ. وطن‌خواه- شناسایی بست‌های نقاشی ایرانی به روش شیمی‌تر- دو فصلنامه تخصصی مرمت و پژوهش شماره ۷-۱۳۸۸.
2. J. Plesters, "Cross-sections and chemical analysis of paint samples", *Studies in Conservation*, 129-30, 1956.
3. M. Johnson, E. Packard, "Methods used for the identification of binding media in italian paintings of the fifteenth and sixteenth centuries", *Studies in Conservation*, 145-164, 1971.
4. R. H De Silva, "The problem of the binding medium particularly in wall painting", *Archaeometry*, 6, 57&61, 1963.
5. D. Stulik, H. Florsheim, "Binding media identification in painted ethnographic objects", *J. Am. Inst. Conserv. Historic Artistic Works-* 275-88, 1992.
6. N. Odegaard, S. Carroll, W. Zimmt "Material characterization tests for objects of art and archaeology" *Archetype Publications*, 130-139, 2000.
7. J. O. Schreck, W. M. Loffredo, "Qualitative testing for carbohydrates" *Chem. Educ. Resour. (www.cerlabs.com)*, 1994.
8. A. J. Cain, "The use of Nile blue in the examination of lipoids", *J. Microsc. Sci.*, 84, 1947.
9. J. O. Schreck, W. M. Loffredo J. O. Schreck, W. M. Loffredo, "Qualitative Testing for Lipids" *Chem. Educ. Resour. (www.cerlabs.com)*, 1994.
10. J. O. Schreck, W. M. Loffredo, "Qualitative Testing for Amino Acids and Proteins" *Chem. Educ. Resour. (www.cerlabs.com)*, 1995.
11. The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, "Paper conservation catalogue", *Book and Paper Group (7th ED)*, 32-33, 1990.
12. ا. کریمی - م. حسینی، "انواع بست رنگ در متون تاریخی فنی نقاشی و خوشنویسی ایران"، نامه هنرهای تجسمی کاربردی (علمی- پژوهشی)، شهریورماه ۱۳۹۱ (زیرچاپ)
13. M. R. Schilling, H. Khanjian, "Gas chromatographic analysis of amino acids as ethyl chloroformate derivatives". Part 2, "Effects of pigments and accelerated aging on the identification of proteinaceous binding media", *J. Am. Ceram. Inst. Conserv.*, Vol. 35. 2, 123-144 (Summer, 1996)
14. R. J. Meilunas, J. G. Bentsen, A. Steinberg, "Analysis of aged paint binders by FTIR spectroscopy", *Stud. Conserv.*, 35.1, 33-51, 1990.
15. A. Burnstock, T. Learner, "Changes in the surface characteristics of artificially aged mastic varnishes after cleaning using alkaline reagents", *Stud. Conserv.*, 37.123-144, 1992.
16. P. Matteini, M. Camaiti, G. Agati, M. Baldo, S. Muto, M. Matteini, "Discrimination of painting binders subjected to photo-aging by using microspectrofluorometry coupled with deconvolution analysis", *J. Cultural Heritage* 10, 198-205, 2009.
17. <http://www.winsomewton.com>
۱۸. ح. اصلانی، "بررسی شیوه تمپرا در دیوارنگاری مکتب اصفهان"، مجموعه مقالات نگارگری گردهمایی مکتب اصفهان، انتشارات فرهنگستان هنر، ۳۲۳-۳۵۱، ۱۳۸۶.
۱۹. ف. کلینی، "شناسایی بست به کار رفته در نگاره‌های سالن مرکزی سوکاس یک"، دو فصلنامه مرمت و پژوهش، شماره ۳، ۸۵-۹۲، ۱۳۸۶.