

Study on Efflorescence of Ceramic Objects of Archeological Excavation

Bahadory, R.

*Research Center For Conservation of Cultural Relics,
Iranian Cultural Heritage Organization*

Key Words: *Efflorescence, Historical Ceramic, Excavation, FT-IR,*

Abstract: Effloresce means formation of crystals or whitish deposits on the surfaces of objects. The appearance of these crystals are due to the type of art works, pigment, binding factor used, conservation treatments and the environment in which the objects are kept. In order to study the components of efflorescence and the reasons for thier formation, samples were collected from the sediments present on the surfaces of twenty six ceramic objects. These objects were excavated from regions with different climaticconditions, and were all unglazed, and belonged to the first or second millenium BC. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray diffraction (XRD) and wet chemical analysis were used for analysing of these minute samples. The results showed that the deposits consisted of either one or a mixture of gypsum, calcite, hydrated ferric chloride, feldspar, pyroxene, hematite and halite. Also the soil of region was analysed and the effects of the environmental factors on components and amount of efflorescence was studied.

پژوهشی

بررسی شوره زنی آثار سفالی بدست آمده از حفاریهای باستان شناسی

رویا بهادری

پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، سازمان میراث فرهنگی

چکیده: شوره زنی به معنی تشکیل بلور یا رسوب سفید یا خاکستری بر سطح اشیاء است. ظهور این بلورها متأثر از نوع اثر هنری، رنگدانه و بست به کار رفته در آن، مرمت‌های انجام شده، و محیط نگهداری اثر است. برای بررسی نوع ترکیبات شوره و علل تشکیل آنها، از رسوبهای موجود بر سطح ۲۶ شیء سفالی نمونه برداری شد. این سفالها از حفاری مناطقی با اقلیمهای مختلف بدست آمده و همگی بدون لعاب و متعلق به هزاره اول یا دوم پیش از میلاد مسیح بودند. برای آنالیز نمونه‌های شوره که بسیار کم بود از روشهای دستگاهی نظیر پراش سنجی پرتو ایکس XRD، طیف سنجی فروسرخ تبدیل فوریه FT-IR و تجزیه شیمیایی استفاده شد. نتایج نشان داد که شوره‌ها شامل یک یا مخلوطی از گچ، کلسیت، کلرید آهن آبدار، فلدسپار، پیروکسن، هماتیت و هالیت است. علاوه بر شوره‌ها، خاک هر منطقه نیز آنالیز شد و تأثیر عوامل محیطی در میزان و نوع ترکیبات شوره مورد بررسی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: شوره زنی، سفالهای تاریخی، حفاری، XRD، FT-IR

مقدمه

سه نوع ماده خام اصلی، خاک رس، فلدسپار و ماسه در ساخت محصولات سرامیکی کلاسیک به کار می‌روند. خاکهای رسی، کم و بیش آلومینیم، سیلیکاتهای ناخالص و آبپوشیده‌ای هستند که از هوازدگی صخره‌های آذرین که در آنها فلدسپار نخستین کانی قابل توجه بوده است، به دست می‌آیند. در فرمول سرامیکها، فلدسپار به عنوان جزء

گداز آور از اهمیت بسیار برخوردار است. این ماده ممکن است هنگام استخراج، خاک رس در آن موجود باشد یا آنکه در صورت لزوم به آن اضافه شود. سومین جزء اصلی در فرمول سرامیکها ماسه یا سنگ آتشنه (SiO_2) است که ماده‌ای شکل ناپذیر و دیر ذوب است. برای تولید محصولات سرامیکی با رنگهای روشن باید از ماسه‌هایی که مقدار آهن موجود در آنها کم است، استفاده کرد [۱].

به وجود آمدن شوره را می‌توان حاصل تشکل دوباره شبکه بلوری یک نمک دانست. هرگاه نمکی در محیط مایع قرار گرفته و محلول نمکی حاصل شود، شبکه بلوری نمک در اثر یونش در هم می‌ریزد. ولی بعد از جدا شدن حلال در اثر تبخیر، یونها مجدداً به همان شکل شبکه بلوری مجتمع شده و تشکیل بلورهای نمک را می‌دهند که شکل این بلورها، خود تحت تأثیر عواملی نظیر رطوبت نسبی و دما قرار می‌گیرد.

در مورد سفالهای قدیمی جذب نمکهای محلول هم در دوره زیر خاک و هم در دوره پس از حفاری صورت می‌گیرد. اکثر سفالهای پیش از تاریخ ایران، علاوه بر مصارف روزمره، همراه اجساد مردگان (به عنوان وسایل زندگی که بعد از مرگ نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند) دفن می‌شده‌اند. این ظروف سفالی حاوی مواد غذایی بوده و در کنار اشیاء تزئینی فلزی و پارچه‌ای قرار می‌گرفتند. فساد مواد غذایی خود می‌تواند باعث تولید نمکهای نترات، فسفات، سولفید و کربنات شود. مجاورت با اشیاء فلزی نیز می‌تواند بر نوع ترکیبات شوره مؤثر باشد. اشیاء تزئینی نیز اگر از جنس سنگهای آهکی بودند می‌توانستند منبع سولفاتها و کربناتها به شمار آیند. آبهای زیر زمینی و ترکیب خاک منطقه نیز در نوع ترکیبات بی تأثیر نیست به خصوص در نواحی کویری ایران که درصد نمکهای مختلف در خاک بالاست.

امروزه با رشد و توسعه شهرنشینی و زندگی ماشینی درصد آلودگی هوا بسیار افزایش یافته است، که همین تراکم بیش از حد ذرات شیمیایی در هوا، می‌تواند برای شیء به عنوان منبع نمک شمرده شود. هم جواری مناطق باستانی با منابع آلودگی تأثیر زیادی بر روی اشیاء مدفون خواهد داشت. بعد از حفاری، شیء در معرض عوامل محیطی گوناگون قرار گرفته و اقداماتی نیز بر روی آن انجام می‌شود که می‌تواند بعدها خود باعث به وجود آمدن شوره شود. بعضی از اشیاء و سفالهای باستانی بعد از حفاری به وسیله محلولهای اسیدی مثل هیدروکلریک اسید و نیتریک اسید تمیز می‌شوند. بنابراین در حین عملیات تمیز کردن ممکن است این اسیدها روی شیء باقی مانده و یا به

طرق مختلف درون خلل و فرج سفال جای گرفته و بعدها منبعی برای شوره‌های کلریدی و نیتراتی شود [۲].

ویتترینهای نمایش، قفسه‌های نگهداری و محفظه‌های چوبی رنگ نشده نیز می‌توانند عامل بروز شوره (هم نمکهای آلی و هم نمکهای معدنی) شمرده شوند. یکی از این نوع شوره‌ها کالکلسیت^(۱) یا کلسیم استات کلرید $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{CO}_2)\text{Cl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ است که وجود آنها روی اشیاء سرامیکی که در ۵۰ تا ۷۰ سال اخیر در قفسه‌های چوبی از جنس درخت کاج یا ویتترینهایی از چوب گیلان نگهداری می‌شوند، ثابت شده است. تشکیل این ماده ناشی از واکنش بخارهای استیک اسید آزاد شده از قفسه‌های چوبی، کلسیم موجود در سرامیک و کلرید باقیمانده در منافذ سرامیک از دورانه‌های قبلی است [۳]. در ترکیبات شوره تشکیل شده روی بعضی از سرامیکها علاوه بر کالکلسیت که بسیار متداول است، مقداری آمونیم کارنالیت $\text{NH}_4\text{MgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ نیز وجود دارند که نتیجه دو مرحله تمیز سازی سرامیکها، نخست با اسید هیدروکلریک و سپس با آمونیاک است. منبع منیزیم دولومیت $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ است که یا درون سرامیک و یا به صورت یک قشر روی سرامیک قرار می‌گیرد [۴].

کلسیم استات فرمیات $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{CO}_2)(\text{CHO}_2) \cdot \text{H}_2\text{O}$ از دیگر ترکیبات شوره است که بر سطح خارجی و داخلی صدفهای دریایی و زمینی دیده می‌شود. بخارهای فرمیک اسید و استیک اسید آزاد شده از کابینت‌های چوبی محل نگهداری آنها با کلسیم کربنات موجود در صدف واکنش و تولید این شوره‌ها را کرده است [۵-۷].

روش کار

برای بررسی ترکیبات شوره، نخست از ۲۶ شیء سفالی که در سطح آنها رسوب دیده می‌شد نمونه برداری شد. این سفالها از مناطق حفاری با اقلیمهای متفاوت شامل شهر سوخته زاهدان، تپه قلی درویش قم، ایلام، ماسور خرم آباد، دیلمان و چشمه علی شهرری و آق اولر تالش بدست آمده بودند. علاوه بر شوره از خاک و در بعضی موارد از شیء سفالی نیز نمونه برداری شد.

به دلیل کم بودن میزان این شوره‌ها نیاز به روشهای پیشرفته بود که به همین منظور

برای آنالیز ترکیبی شوره‌ها از پراش پرتو ایکس XRD و طیف سنجی فروسرخ تبدیل فوریه FT-IR استفاده شد. دستگاه XRD که برای آنالیز نمونه‌ها بکار برده شد SEIFERT 3000TT با لامپ مس (40 KV , 30 mA) بوده است. طیفهای FT-IR نیز با دستگاه Nicolet 510P گرفته شد، بدین منظور از تمامی نمونه‌ها قرص KBr تهیه شد. علاوه بر این، روشهای تجزیه نقطه‌ای شیمی تر به منظور شناسایی کیفی آنیونها و کاتیونها به کار گرفته شد.

بحث و برداشت

پدیده شوره زدن در آثار سفالی که از مناطق حفاری به دست می‌آید بسیار متداول است و یکی از عوامل مخرب به شمار می‌رود که علت آن را می‌توان به دو عامل درونی و بیرونی نسبت داد. ترکیبات موجود در سفال و محیطی که سفال قبل از حفاری در آن قرار داشته در نوع ترکیبات به وجود آمده در سطح سفال بسیار مهم است.

خصوصیات و مشخصات نمونه‌های آزمایشی شامل رنگ، حالت ظاهری رسوب در سطح سفال، نوع شیء و محل کشف اثر در جدول ۱ آمده‌اند. این نمونه‌ها شامل شوره های سطح سفال، خاک داخل یا چسبیده به سفال و ظرف سفال بودند. سختی رسوبها در محدوده وسیعی از بسیار نرم و سست تا سخت قرار داشته و ظاهر آنها بر سطح شیء به اشکال گوناگون، نقطه‌ای، پودری برجسته یا فرورفته و لایه‌ای دیده می‌شدند. این سفالها از مناطق حفاری جنوب، مرکز و شمال ایران جمع‌آوری شده بودند. رسوبهایی که در سطح این سفالها وجود داشتند اغلب به رنگ سفید، کرم و خاکستری بودند، اما در بعضی از سفالها نقاط سیاه نیز دیده می‌شدند. علاوه بر این تعدادی از سفالهای منقوش رسوبهایی به رنگ زرد و سبز داشتند. پیشینه تاریخی این اشیاء سفالی به هزاره اول و دوم پیش از میلاد مسیح باز می‌گردد و همه آنها بدون لعاب بودند.

شکلهای ۱ تا ۳ تصاویر ۳ نمونه از ظروف سفالی شوره‌زده زاهدان را نشان می‌دهند. نتایج تجزیه این نمونه‌ها به سه روش تجزیه نقطه‌ای شیمی تر، FT-IR و XRD در جدول ۲ آمده‌اند.

همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، شوره‌های موجود در سفالهای شهر سوخته زاهدان بیشتر شامل گچ، کلسیت و هالیت، سفالهای ایلام و چشمه علی شهر ری شامل کلسیت و کوارتز، سفالهای قم شامل هالیت و سفالهای دیلمان شهرری و تالش شامل

جدول ۱ مشخصات نمونه‌های بدست آمده از حفاری مناطق مختلف.

ردیف	شماره ثبیتی	نوع نمونه	رنگ	ظاهر	نوع شیء	محل
۱	۴	رسوب	کرم	پودری و برجسته	کاسه منقوش	شهر سوخته
۲	۲۸	رسوب	سفید	پودری و برجسته	کوزه منقوش	شهر سوخته
۳	۲۸	سفال	کرم	-	کوزه منقوش	شهر سوخته
۴	۹۲	رسوب	سفید	پودری	تنگ منقوش	شهر سوخته
۵	۹۳	رسوب	سفید	پودری فرو رفته	ظرف شیپوری خاکستری	شهر سوخته
۶	۱۷۸	رسوب	سفید	پودری	کاسه منقوش	شهر سوخته
۷	۱۹۶	رسوب	سفید	پودری	تنگ سفال خاکستری	شهر سوخته
۸	۲۱۱	رسوب	سفید	پودری	کاسه منقوش	شهر سوخته
۹	۲۱۶	رسوب	سفید	پودری و سست	کاسه منقوش	شهر سوخته
۱۰	۲۱۶	سفال	قرمز		کاسه منقوش	شهر سوخته
۱۱	۲۲۳	رسوب	سفید	پودری و سست	لیوان منقوش	شهر سوخته
۱۲	۲۲۳	رسوب	سبز ماشی	پودری و سست	لیوان منقوش	شهر سوخته
۱۳	۲۲۴	رسوب	زرد	پودری و سست	لیوان منقوش	شهر سوخته
۱۴	۲۸۷	رسوب	زرد	پودری	کوزه	شهر سوخته
۱۵	۳۰۶	رسوب	سیاه	نقطه‌ای و نفوذ کرده در سفال	ظرف منقوش	شهر سوخته
۱۶	۳۳۱	رسوب	سفید	پودری و برجسته	کاسه منقوش	شهر سوخته
۱۷	-	خاک	-	-	-	شهر سوخته
۱۸	۱۰	رسوب	سفید	تکه‌ای	تکه سفال خاکستری	تپه قلی درویش
۱۹	۱۸	رسوب	سفید	نقطه‌ای	تکه سفال خاکستری	تپه قلی درویش
۲۰	-	خاک	-	-	-	تپه قلی درویش

ردیف	شماره ثبتي	نوع نمونه	رنگ	ظاهر	نوع شیء	محل
۲۱	۱۶	رسوب	خاکی	سخت	تکه سفال خاکستری	ایلام
۲۲	۱۷	رسوب	خاکی	سست ولایه‌ای	تکه سفال خاکستری	ایلام
۲۳	۶۳	رسوب	سفید و کرم	لایه‌ای	کاسه	ماسور
۲۴	۱۰۷۱	رسوب	خاکی	تکه‌ای و سخت	کاسه	ماسور
۲۵	۱۰۷۵	رسوب	سفید	نقطه‌ای	کوزه	ماسور
۲۶	-	رسوب	خاکی	سست	ساغر (آب خوری)	دیلمان
۲۷	-	رسوب	زرد	سست	ساغر (آب خوری)	دیلمان
۲۸	-	رسوب	سیاه	نسبتاً سست	ساغر (آب خوری)	دیلمان
۲۹	-	رسوب	سفید و زرد	نسبتاً سست	عطر دان خاکستری	دیلمان
۳۰	۱۶	رسوب	خاکی	سخت	فوقا	چشمه علی
۳۱	-	خاک	-	-	-	چشمه علی
۳۳	۶۱۲۸	رسوب	خاکی	بسیار سست	کوزه	آق اولر
۳۴	۶۱۳۲	رسوب	خاکی و سفید	بسیار سست	کوزه گردن بلند	آق اولر
۳۵	-	خاک	-	-	-	آق اولر

فلدسپار و کوارتز است. تجزیه خاک و سفالها نشان می‌دهد، نوع رسوب ایجاد شده بر روی سفالها ارتباط مستقیم با ترکیبات موجود در خاک و سفالهای هر منطقه دارد. در منطقه‌ای مثل قم که خاک آن بیشتر حاوی هالیت است، شوره‌های ایجاد شده بر روی اشیاء سفالی نیز هالیت است، زیرا احتمالاً خاک مورد استفاده برای ساخت سفال حاوی هالیت بوده است که در اثر قرار گرفتن سفال در شرایط رطوبتی، به صورت محلول در آمده و به خارج از سطح سفال مهاجرت کرده و در اثر تبخیر حلال متبلور شده است. در مورد سفالهای شهر سوخته زاهدان، چون در ساختار خاک و سفال آنها گچ، هالیت و کلسیت وجود دارد، این سه ماده عمده‌ترین ترکیبات شوره هستند اما هالیت چون محلول در آب است، در اثر شستشوی سفالها (با آب که همواره انجام می‌شود) کمتر در ترکیبات شوره به چشم می‌خورد. در سطح بعضی از سفالهای شهر سوخته زاهدان نقاط سیاه رنگی دیده می‌شوند که حاکی از رشد میکروارگانیسمهاست که احتمال می‌رود



شکل ۱ تصویری از سفال با شماره ثبتی ۳۰۶ که رسوب نقطه‌ای سیاه رنگ در سطح آن دیده می‌شود. این ذرات کاملاً در سفال نفوذ کرده و احتمالاً ناشی از رشد میکروارگانیسم هاست.



شکل ۲ تصویری از سفالهای منقوش با شماره ثبتی ۲۲۳ و ۲۲۴ که رسوبهایی به رنگ سفید، زرد و سبز تیره و روشن بر روی آن مشاهده می‌شوند.



شکل ۳ تصویری از سفال خاکستری با شماره ثبتی ۱۹۶، با رسوب سفید در سطح آن.

به دلیل شرایط رطوبتی محل، امکان رشد این موجودات ذره بینی فراهم آمده است. به دلیل نفوذ کامل این نقاط در سفال، در هنگام نمونه برداری علاوه بر ذرات سیاه رنگ مقداری از سفال نیز تراشیده شد. نتایج تجزیه این نمونه‌ها، دربرگیرنده نقاط سیاه سفال است.

نتیجه

ترکیب اصلی تمامی سفالها رس است که یک نوع آلومینوسیلیکات با مقدار زیادی آهن است. علاوه بر رس ترکیباتی به نام تمپر (شاموت)^(۱) برای اصلاح خواص، به سفال اضافه می‌کنند. تمپرهای شامل ماسه، سنگ آهک، صدف، کاه و کود یا مدفوع حیوانات است. احتمال می‌رود که منشاء مواد مورد استفاده در ساخت سفالهای بدست آمده از

جدول ۲ نتایج تجزیه رسوب، سفال و خاک به دست آمده از مناطق حفاری مختلف.

ردیف	شماره ثبتي	نتایج تجزیه شیمیایی	نتایج FT-IR	نتایج XRD
۱	۴	$SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Fe^{3+}$	سولفات، سیلیکات	فلدسپار، گچ
۲	۲۸	SO_4^{2-}, Ca^{2+}	سولفات	گچ
۳	۲۸	-	سیلیکات	کوارتز، فلدسپار، میکا
۴	۹۲	SO_4^{2-}, Ca^{2+}	سولفات	گچ
۵	۹۳	$SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, Ca^{2+}$	سولفات، کربنات	گچ، کلسیت
۶	۱۷۸	$SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, Ca^{2+}$	سولفات، کربنات	گچ، کلسیت
۷	۱۹۶	SO_4^{2-}, Ca^{2+}	سولفات	گچ
۸	۲۱۱	$SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, Ca^{2+}$	سولفات، کربنات	گچ، کلسیت
۹	۲۱۶	$SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, Ca^{2+}$	سولفات، کربنات	گچ، کلسیت
۱۰	۲۱۶	-	سیلیکات، کربنات	کوارتز، فلدسپار، کلسیت، گچ
۱۱	۲۲۳	$SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, Ca^{2+}$	سولفات، کربنات	گچ، کلسیت
۱۲	۲۲۳	$SO_4^{2-}, Cl^-, Fe^{3+}, Ca^{2+}$	سیلیکات، سولفات	گچ، کوارتز، کلرید آهن II
۱۳	۲۲۴	Fe^{3+}	سیلیکات	کوارتز، فلدسپار، هماتیت
۱۴	۲۸۷	$SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Fe^{3+}$	سولفات	گچ، هماتیت
۱۵	۳۰۶	$SO_4^{2-}, Cl^-, CO_3^{2-}, Fe^{3+}$	سیلیکات، کربنات، سولفات	هالیت، گچ، هماتیت، کلسیت فلدسپار، پروکسن
۱۶	۳۳۱	$SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, Ca^{2+}, Fe^{3+}$	سولفات، کربنات	گچ، کوارتز، دولومیت
۱۷	-	-	سیلیکات، سولفات، کربنات	هالیت، کوارتز، گچ فلدسپار، میکا، کلسیت
۱۸	۱۰	Cl^-, Fe^{3+}	-	هالیت

ردیف	شماره ثبتي	نتايج تجزيه شيميايي	نتايج FT-IR	نتايج XRD
۱۹	۱۸	Cl^-, Fe^{3+}	-	هاليت
۲۰	-	Cl^-, Fe^{3+}	سيليكات	هاليت، کوارتز، فلدسپار
۲۱	۱۶	$CO_3^{2-}, Ca^{2+}, Fe^{3+}$	سيليكات، کربنات	کلسيت، کوارتز (کم)
۲۲	۱۷	$CO_3^{2-}, Ca^{2+}, Fe^{3+}$	سيليكات، کربنات	کلسيت، کوارتز، فلدسپار، کانيه‌هاي رسي
۲۳	۶۳	$CO_3^{2-}, Ca^{2+}, Fe^{3+}$	سيليكات، کربنات	کلسيت، کوارتز، کانيه‌هاي رسي
۲۴	۱۰۷۱	$SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, Ca^{2+}, Fe^{3+}$	سولفات، سيليكات (کم)، کربنات (کم)	گچ، کلسيت، کوارتز
۲۵	۱۰۷۵	CO_3^{2-}, Ca^{2+}	کربنات	کلسيت
۲۶	-	$CO_3^{2-}, Ca^{2+}, Fe^{3+}$	سيليكات، کربنات (کم)	کوارتز، فلدسپار، کلسيت، هماتيت
۲۷	-	Fe^{3+}	سيليكات (کم)	کوارتز، فلدسپار، هماتيت
۲۸	-	Fe^{3+}	سيليكات	کوارتز، فلدسپار
۲۹	-	Fe^{3+}	سيليكات	کوارتز، فلدسپار
۳۰	۱۶	$CO_3^{2-}, Ca^{2+}, Fe^{3+}$	کربنات، سيليكات	کوارتز، پروکسن، کلسيت
۳۱	-	-	سيليكات، کربنات	کوارتز، فلدسپار، کلسيت، رس (کم)
۳۲	۶۱۱۵	-	سيليكات	کوارتز، فلدسپار
۳۳	۶۱۲۸	Ca^{2+}, Fe^{3+}	سيليكات	کوارتز، فلدسپار
۳۴	۶۱۳۲	-	سيليكات	کوارتز، فلدسپار
۳۵	-	-	سيليكات	کوارتز، فلدسپار

حفاری مناطق مختلف خاک آن منطقه بوده و بسته به تجربیات سفالگر، مواد مختلفی را به خاک اضافه می‌کرده که باز به شرایط اقلیمی آن منطقه ارتباط نزدیکی داشته است. به منظور بررسی آسیب شناسی سفالهای بدست آمده از حفاریهای باستان شناسی و اثر اقلیم آن منطقه بر نوع آسیب، سفالهای بدست آمده از حفاری چند منطقه جغرافیایی مختلف ایران از نظر نوع رسوبهای تشکیل شده در هر یک از آنها مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه شیمیایی رسوبهای ایجاد شده نشان می‌دهد که آنها از نظر نوع ترکیب ارتباط نزدیک به ترکیبات خاک آن منطقه دارند. وجود ترکیباتی مثل اکسید و کلریدهای آهن در رسوبهای زرد و سبز به دلیل وجود کاتیونهای آهن به کار رفته در رنگدانه است و در بقیه سفالها ممکن است مجاورت با اشیاء آهنی، علت وجود این گونه ترکیبات باشد. بررسی تعداد بیشتری از نمونه‌های سفالی و در صورت امکان نمونه برداری از نقاط مختلف یک سفال می‌تواند به نتایج بهتری منجر شود. همچنین بررسی مکانیسم خروج ترکیبات شوره از سفال نیز باید مورد بررسی دقیق‌تری قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

از خانمها سودابه دورعلی و بیگم مدنی برای ثبت طیفهای XRD و FT-IR و از آقایان محمدرضا خلعتبری، میرعابدین کابلی، خسرو پور بخشنده و محمود رشیدی جهت در اختیار قرار دادن نمونه‌های سفال و راهنماییهای ارزنده شان قدردانی می‌نمایم.

مراجع

۱. آستین، جرج تی، مجله شیمی، ۱۳۷۸، ۱، ۳۷.
۲. امین شیرازی نژاد، شهرزاد، پایان نامه کارشناسی، ۱۳۷۳، دانشگاه هنر.
3. Ordonez, E., Twilley, J. (1997) *Anal. Chem.* 69, 416A.
4. Segan Wheeler, G., Wypyski, M. T. (1993) *Studies in Conservation*, 38, 55-62.
5. Tennent, N. H., Baird, T. (1985) *Studies in Conservation*, 30, 73-85.
6. Whitmore, P. M., Colaluca, V. G., Farrel, E. (1996) *Studies in Conservation*, 41, 250-55.
7. Singer, B., Devenport, J. (1995) *Conservator*, 19, 3-9.