

«مطالعه ترکیب شیمیایی ظروف شیشه‌ای ایرانی قرون اولیه اسلامی (قرن ۱۰-۱۱ میلادی) توسط micro-PIXE. مطالعه موردی: مجموعه اسلامی در موزه ملی ایران»

چکیده

نتایج تجزیه و تحلیل مقدماتی ۱۹ ظرف شیشه‌ای مربوط به اوایل دوره اسلامی که در موزه ملی ایران نگهداری می‌شوند، در این مقاله ارائه شده است. این نمونه‌ها در کاوش‌های باستان‌شناسی در چندین مکان اسلامی کشف شد. تجزیه و تحلیل مقدماتی این نمونه‌ها با روش micro-PIXE انجام شده و عناصر اصلی و جزئی این نمونه‌ها اندازه‌گیری می‌شوند. نوع شیشه، ماده اولیه مورد استفاده در فرآیند تولید آنها و رنگ‌آمیزی شیشه در سایت‌های مختلف بر اساس نتایج ما مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد تقریباً تمام شیشه‌هایی که در همه سایت‌ها یافت می‌شوند، حاوی سودا-آهک و سیلیس هستند. از آنجا که مقادیر اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم در تمام نمونه‌های مورد تجزیه و تحلیل به استثنای یک نمونه بیش از ۲/۵٪ است، بدیهی است خاکسترهای بدست آمده از گیاهان شورپسند به عنوان منبع تأمین اکسیدسیدیم در نظر گرفته می‌شوند. همچنین، نتایج ترکیب شیمیایی ما با نتایج گزارش شده از عراق، سوریه و مصر ترکیب و مقایسه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد که ظروف شیشه‌ای ایران را می‌توان در یک گروه مشخص به ویژه با توجه به محتوای Al_2O_3 و P_2O_5 جمع‌بندی کرد.

واژه‌های کلیدی: اوایل اسلامی، ظروف شیشه‌ای، Micro-PIXE، تحلیل مقدماتی، ایران.

مقدمه

به نظر می‌رسد ساخت شیشه در ایران از اواخر عصر مفرغ آغاز شده، این امر با کشف سیم‌های شیشه در زیگورات چغازنبیل گواه است (Ghirshman, 1963). این دوره تا عصر آهن ادامه یافت، به عنوان مثال در تپه مارلیک (نگهبان، ۱۹۹۴) و حسنلو (Marcus, 1991)، در دوره هخامنشی بیشتر توسعه و در زمان ساسانیان رونق گرفت. محصولات صنعتی اوایل اسلامی را نمی‌توان به راحتی از ساسانیان تشخیص داد (Kroger, 1995; Ponzi, 1970-71). اما حفاری‌های انجام شده طی سال‌های ۱۹۴۵ و ۱۹۷۹ در مکان‌هایی مانند نیشاپور، سیراف، شوش و تخت سلیمان (Kroger, 1995)، ظروف به دست آمده مربوط به قرن‌های ۱۰ تا ۱۱ و کاوش‌های اخیرتر نزدیک به نمونه‌های استخر (نوروزاده چگینی و اسدی، ۲۰۱۷)، هریره در کیش (Rasty Dust, 2011)، گرگان (مرتضائی، ۲۰۰۴)، شادیاخ در نیشابور (لباف خانیکی، ۲۰۰۴) و دره شهر در ایلام (فریادیان، ۲۰۰۹ و لک پور، ۲۰۱۱) و ظروف قابل توجهی به دست آمده مربوط به اوایل دوره میانه اسلامی به راحتی قابل تشخیص است.

علیرغم علاقه قابل توجه به تجارت و جابجایی شیشه در اوایل دوران اسلامی، به ویژه در دوره عباسیان (فلیس، ۲۰۱۸، ص ۳۲۷)، مطالعات تحلیلی نسبتاً کمی در مورد شیشه‌های اولیه اسلامی از ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.



از تعداد بسیار کمی سایت که عمدتاً در روی نیشاپور و سیراف قرار دارند (Kroger, 1995; Brill, 1999; Wypyski, 2015; Swan et al., 2017). مطالعه حاضر با بررسی در مورد ویژگی‌های تحلیلی شیشه‌های یافت شده در اماکن اسلامی اولیه از سراسر ایران در موزه ملی انجام شده است. امیدوارم این امر شناسایی شیشه ایرانی را در سایت‌های دیگر جهان اسلام تسهیل کند. در مطالعه حاضر، ۱۹ شیء شیشه‌ای از قرن ۱۰ تا ۱۱ میلادی برای اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی با روش micro-PIXE از طریق تکنیک 3MV Van de Graaff از موسسه تحقیقات علوم و فناوری هسته‌ای انتخاب شده است.

توزیع جغرافیایی نمونه‌ها

۱۹ نمونه از ظروف شیشه‌ای اولیه اسلامی کشف شده در کاوش‌های باستان‌شناسی اماکن اولیه اسلامی ری، گرگان، نیشابور، کنگاور، هفت تپه، تخت سلیمان، شوش و غیره در این تحقیق تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از میان نمونه‌های انتخاب شده جهت تجزیه و تحلیل، ۱۷ نمونه از مجموعه شیشه‌های اسلامی قرن ۱۰-۱۱ میلادی در موزه ملی ایران و دو نمونه دیگر نیز از مجموعه شیشه در موزه شوش انتخاب شده است. دو نمونه آخر در گنجینه موزه شوش نگهداری می‌شود. مشخصات نمونه‌های بررسی شده در این تحقیق به تفصیل در جدول (۱) آورده شده است.



این نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که دارای پراکندگی جغرافیایی گسترده‌ای باشند تا تغییرات ترکیب شیمیایی شیشه را در اوایل دوره اسلامی به صورت محلی یا یکپارچه منعکس کنند. همچنین سعی شد، نمونه‌هایی از ظروف شکسته که به طور کامل تعمیر نشده‌اند، انتخاب شود. در میان نمونه‌های انتخاب شده از موزه ملی ایران، دو نمونه (نمونه‌های ۱۳ و ۱۴) وجود دارند که مکان‌های کاوش آنها ناشناخته است.

جدول ۱: مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه در این

پژوهش

تصویر (۱). محل و توزیع جغرافیایی سایت‌هایی را نشان می‌دهد که نمونه‌های انتخاب شده برای تجزیه و تحلیل در آنها کشف شده‌است. همان‌طور که از نقشه مشخص است، نمونه‌های تحت تحقیق تقریباً از تمام مناطق ایران انتخاب شده‌اند. همچنین، تصاویر نوری این نمونه‌ها و نقاشی‌های آنها در تصویر نشان داده شده است.

تاریخ کاوش و باستان‌شناسی سایت‌ها

ری: بقایای باستانی ری در جنوب تهران شامل لایه‌های مختلف فرهنگی از محل چشمه‌علی تا مکان‌های معاصر است. بین سال‌های ۱۹۳۴ و ۱۹۳۶، اشمیت برای اولین بار از سه مکان باستانی یعنی چشمه علی، قلعه ری و خانه موسیقی از اوایل دوره اسلامی تا دوره‌های جدید، آثار و اشیای شیشه‌ای را پیدا کرد. البته مهم‌ترین اشیاء از دوره‌های اولیه اسلامی در سال ۱۹۳۵ در F110 و E191 یافت شد (Schmidt, 1935: 62-3). در حقیقت، برخی از این اشیاء از جمله ظروف شیشه‌ای به چندین موزه در پنسیلوانیا و تهران تحویل داده شدند (Trepow, 2007: 18; Kordmahini, 1982: 81).

گرگان: بقایای شهر گرگان در فاصله ۴ کیلومتری غرب گنبدکاووس و جنوب شرقی دریای خزر واقع شده‌اند. (کیانی، ۱۹۸۴).

طی کاوش‌های محمد کیانی در شهر تاریخی گرگان از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۷، مقادیر زیادی شیشه کشف شد. این کاوش‌ها به یافتن دو کوره شیشه‌ای در مجاورت کارگاه‌های صنعتی سایت منجر شد. شواهد باستان‌شناسی نشان می‌دهد که این کوره‌ها متعلق به قرون ۱۱ - ۱۲ میلادی هستند (کیانی، ۱۹۸۴). بعدها، محمد مرتضایی همچنین شروع به کاوش در عرصه گرگان کرد که در آن برخی از انواع اصلی ظروف شیشه‌ای سلجوقی یافت

نمونه	موزه	کاربرد و فرم	حکومت	سایت	اندازه/ابعاد	رنگ
۱	۳۳۵۸	ظرف طرح‌دار	ری	عباسیان	H: 2/5 cm R: 7/11 cm	آبی
۲	۲۰۳۸۴	ناشناخته	ری	عباسیان	فاقد اندازه	آبی
۳	۸۲۹۰	کوزه	گرگان	سامانیان	H: 11 cm R: 3/5 cm B: 6/3 cm	سبز
۴	۸۲۸۱	کوزه	گرگان	سامانیان	H: 5/15 cm R: 4/3 cm	بدون رنگ
۵	۸۱۷۹	آفتابه	گرگان	سامانیان	R: 4/5 cm	آبی
۶	۲۲۶۹۱	بطری	کنگاور	عباسیان	H: 15 cm	سبز
۷	۴۱۱۷	کاسه پایه‌دار	نیشابور	غزنویان	H: 3/8 cm R: 3/15 cm B: 5/7 cm	سبز
۸	۸۴۸۲	ناشناخته	نیشابور	غزنویان	فاقد اندازه	سبز
۹	۲۲۷۴۳	وسيله آرایش	نیشابور	غزنویان	H: 5/4 cm	سبز
۱۰	۲۲۶۹۵	لوازم آرایشی / بطری کوچک	هفت تپه	عباسیان	H: 8 cm R: 4/7 cm	سبز
۱۱	۲۳۲۳۰	کوزه دهان گشاد	تخت سلیمان	عباسیان	H: 5/10 cm R: 5/5 cm	سبز
۱۲	۹۹۵۰	کاسه ساده	شوش	عباسیان	H: 5 cm R: 15 cm	بدون رنگ
۱۳	۲۳۵۸۳	لوازم آرایش / ظرف کوچک	ناشناخته	ناشناخته	H: 8/7 cm R: 3/6 cm	سبز
۱۴	۲۲۶۷۴	لوازم آرایشی / بطری کوچک	ناشناخته	ناشناخته	H: 3/7 cm R: 5/1 cm	سبز
۱۵	۲۲۹۳۰	کوزه	غیبرا	سلجوقیان	H: 5/12 cm R: 5/3 cm	سبز
۱۶	۲۳۳۱۳	ناشناخته	کنگاور	عباسیان	فاقد اندازه	سبز
۱۹	۴۷۵۴	تنگ	نیشابور	غزنویان	H: 5/25 cm R: 5/3 cm B: 2/8 cm	آبی
۲۱	۷	ناشناخته	شوش	عباسیان	فاقد اندازه	سبز
۲۲	۶	ناشناخته	شوش	عباسیان	فاقد اندازه	سبز



شده است (مرتضایی، ۲۰۰۴). دو مکان مهم دیگر (شاه تپه و تورنگ تپه) در منطقه گرگان وجود دارد. حفاری به سرپرستی تور آرن جانسون در محل شاه‌تپه در سال ۱۹۳۳ آغاز شد. اشیاء اسلامی یافت شده در این کاوش متعلق به قرون اولیه اسلامی است. بقایای بیش از ۲۰۰ طرف شیشه‌ای در این حفاری پیدا شد. (Arne, 1945: 34-6). کاوش در تورنگ تپه در گرگان به رهبری ژان دشایس از سال ۱۹۶۰ آغاز شد و در سال ۱۹۷۷ به پایان رسید (Mahfrozzi et al., 2009, p. 4).

هفتوان تپه: سایت هفتوان تپه به عنوان یکی از چهار مکان بزرگ نزدیک دریاچه ارومیه شامل برخی از یافته‌های مربوط به دوره‌های پیش از تاریخ تا اسلامی است. در لایه Ia که مربوط به اوایل دوره اسلامی است، چندین لیوان یافت می‌شود که بیشتر آنها شامل دانه‌های شیشه و لیوان‌های کمیاب است که برای ظروف لوازم آرایشی و دارویی استفاده می‌شده که در این لایه قرار داشته است (Burney, 1970).

تخت سلیمان: تخت سلیمان در تکاب در استان آذربایجان غربی واقع شده است. اولین کاوش توسط «رادلوف نومان» در سال ۱۹۶۰ و به دنبال آن «دیتریش هاف» آغاز شد (Kroger, 1995, p. 6). طی این کاوش، شیشه‌ها و ظروف قابل توجهی در رنگ‌های مختلف به دست آمد. نمونه‌های تخت سلیمان به طور قابل توجهی با نمونه‌های نیشابور متفاوت است و بیشتر آنها با روش دمیدن قالب و طیف‌های مختلف رنگارنگ تولید می‌شوند (Kroger, 1995, p. 6).

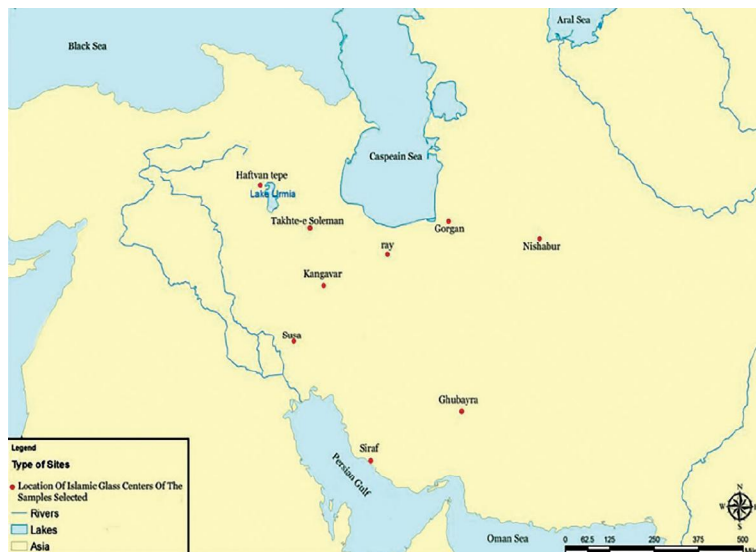
شوش: حفاری‌های زیادی در شوش انجام شده است. گروه حفاری فرانسه به سرپرستی «مارسل آگوست» و «ژان دیولافوی» (۱۸۸۶)، «ژاک دمورگان» (۱۸۹۷-۱۹۱۰) و «رونالد دومکلم» (۱۹۰۸-۱۹۱۴، ۱۹۲۰-۱۹۳۳) بیش از ۳۰ شیسه‌ای پیدا کردند که همه آنها در سال ۱۹۳۱ توسط «لام» گزارش شده است. قدمت این یافته‌ها بین اواخر ساسانیان تا قرن دهم میلادی است. اولین بناهای اولیه اسلامی در آبادانای شرقی واقع شده‌اند و بیشتر اشیاء اسلامی مربوط به دوره‌ای بین قرون ۹ و ۱۱ است.

همچنین، مونیک کروان داده‌های کاوش‌های خود را در شوش بین سال‌های ۱۹۷۲ و ۱۹۷۶ منتشر کرد (کروان، ۱۹۷۸، ۱۹۹۸). برخلاف لیوان‌های نیشابور، قطعات شیشه‌ای که در شوش یافت می‌شود در زمره تولیدات بی‌کیفیت کالاهای مصرفی به حساب می‌آیند (Kroger, 1995).

غیبرا: کاوش به سرپرستی «گیزا فهرواری» و «دیوید اچ بیوار» در سال ۱۹۷۱ آغاز شد و تا ۱۹۷۶ در غیبرا ادامه داشت. حدود ۱۰۰ قطعه شیشه از النگو، مهره‌ها و ظروف بطری به

شده است (مرتضایی، ۲۰۰۴). دو مکان مهم دیگر (شاه تپه و تورنگ تپه) در منطقه گرگان وجود دارد. حفاری به سرپرستی تور آرن جانسون در محل شاه‌تپه در سال ۱۹۳۳ آغاز شد. اشیاء اسلامی یافت شده در این کاوش متعلق به قرون اولیه اسلامی است. بقایای بیش از ۲۰۰ طرف شیشه‌ای در این حفاری پیدا شد. (Arne, 1945: 34-6). کاوش در تورنگ تپه در گرگان به رهبری ژان دشایس از سال ۱۹۶۰ آغاز شد و در سال ۱۹۷۷ به پایان رسید (Mahfrozzi et al., 2009, p. 4).

نیشابور: اولین کاوش در نیشابور بین سال‌های ۱۹۳۵ و ۱۹۴۰ توسط «والتر هیز»، «جوزف آیتون» و «چارلز ویلکینسون» انجام شد. سپس، این کاوش توسط چارلز ویلکینسون در تپه‌های باستانی نیشابور از جمله تپه مدرسه، سبزیوشان تپه، قنات تپه و تاکستان تپه از سال ۱۹۳۷ تا ۱۹۴۵ دنبال شد. طی این، بیش از ۱۰۰ نوع ظرف کشف شد که با تزئینات برشی تزئین شده بودند. بنابراین، اطلاعات بسیار مهمی در مورد شیشه‌کاری به دست آمد (Kroger, 1995: 20, 41). در حین حفاری توسط «چارلز ویلکینسون»، او هیچ کوره شیشه‌ای پیدا نکرد. بعدها، «رجبعلی خانیکی» تعداد زیادی قطعات شیشه‌ای، قالب گچ دایره‌ای و سرباره‌های کوره در ایوان غربی یکی از ساختمان‌ها به دست آمده است.



تصویر ۱: یک نقشه از ایران که نشان‌دهنده موقعیت جغرافیای سایت‌های مورد مطالعه در پژوهش است.

شادیاخ کشف کرد و این نشان می‌دهد این مکان یک کارگاه شیشه‌سازی در اواخر دوره سلجوقی بوده است (لیاف خانیکی، ۲۰۰۴).

کنگاور: معبد معروف آنایتا در کنگاور به عنوان ویرانه‌های انباشته شده از دوره‌های تاریخی تا دوره‌های اسلامی. این مکان به مدت هفت فصل توسط «کامبخش‌فرد» کاوش



تجزیه و تحلیل Micro-PIXE

استفاده از یک تکنیک چند عنصری، حساس (حد تشخیص کم) و سریع برای اندازه‌گیری ترکیب اصلی در اشیاء شیشه‌ای باستانی بسیار مهم است. PIXE یا «انتشار اشعه ایکس ناشی از پروتون» یکی از متداول‌ترین و قدرتمندترین تکنیک‌ها برای تجزیه و تحلیل بنیادی این نوع مواد است. قابلیت‌های تجزیه و تحلیل اولیه توسط PIXE می‌تواند با استفاده از روش micro-PIX، به ویژه با تجزیه و تحلیل نمونه‌های کوچک و ناهمگن تا حد زیادی افزایش یابد. در مطالعه حاضر، اندازه‌گیری‌های micro-pixe با سیستم اسکن میکروپروب پروتون تولید شده توسط استفاده از تکنیک 3MV Van de Graaff در موسسه تحقیقات علوم و فناوری هسته‌ای در سازمان انرژی اتمی ایران (AEOI) انجام شد.

نمونه‌ها در محفظه خلا با استفاده از پرتویی از پروتون‌های ۲/۵ مگا الکترون ولت متمرکز در قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. جریان پرتو در محدوده ۳۰-۵۰ pA بود. اشعه X مشخصه با استفاده از یک آشکارساز Si (Li) با یک منطقه فعال ۶۰ میلی متر مربع واقع در یک زاویه ۱۳۵ درجه نسبت به جهت پرتو برخورد و با وضوح انرژی 150 eV برای Fe-K α تشخیص داده شد. نمونه‌ها توسط پرتویی با مساحت حداکثر ۲/۵ × ۲/۵ میلی متر اسکن شده و سپس سیگنال‌های دیجیتالی با استفاده از سیستم OM-DAQ جمع‌آوری و داده‌ها بر اساس لیست ثبت شدند.

به منظور به دست آوردن ترکیب اولیه دقیق نمونه‌ها، قطعه کوچک (۳-۵ میلی متر مربع) ظروف شیشه‌ای از مناطق شکسته شده عمود بر سطح بریده شده و در روی رزین شفاف نصب می‌شوند. سپس سطح هر نمونه صیقل داده شد تا سطح مقطع صاف تهیه شود. نمونه‌های تهیه شده در تقسیم متقابل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در نقشه توزیع عناصر، در ناحیه تجزیه و تحلیل داده‌های بدون شکستگی برای استخراج طیف مربوط و سپس ارزیابی ترکیبات اصلی انتخاب شدند. طیف‌های اشعه ایکس با استفاده از بسته نرم‌افزاری GUPIXWIN (Campbell et al., 2010) برای تجزیه و تحلیل کمی در فرم اکسیدان پردازش شد. نتایج غلظت به دست آمده میانگین یک واحد اندازه‌گیری در مساحت ۲/۵ × ۲/۵ میلی متر مربع است.

به منظور بررسی اعتبار تجزیه و تحلیل micro-PIXE و ارزیابی صحت اندازه‌گیری‌های ما، دانه شیشه‌های گروه A و B به عنوان نمونه‌های استاندارد شیشه‌ای مناسب در همان شرایط مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و سپس نتایج به دست آمده با نتایج گزارش شده در جدول (۲) مقایسه شد (Brill, 1999; Vicenzi et al., 2002). همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج ما با مقادیر بیان شده با انحراف کمتر از ۱۲٪ برای Na₂O، MgO، Al₂O₃، SiO₂، K₂O و

اشکال مختلف در لایه‌های همپوشانی دوره‌های ساسانی و اسلامی از مناطق مختلف از جمله مخزن‌های زباله، OO و ساختمان K پیدا شد. بیشتر این قطعات مربوط به دوره سلجوقی است. تقریباً نیمی از این ظروف کشف شده به روش دمیدن قالب ساخته شده‌اند (Baker, 2000; Bi-var, 2000; Bivar and Fehérvéri, 1972).



تصویر ۲: عکس‌ها و نقاشی‌های نمونه‌های آنالیز شده.



شده، به غیر از ۴ ظرف شیشه‌ای آبی رنگ و ۲ سفید (بی‌رنگ) ، سایر نمونه‌های مورد بررسی دارای رنگ سبز هستند. همان‌طور که جدول (۳) نشان می‌دهد، از اکسید کبالت با مقادیر بسیار کم استفاده می‌شود و برای تهیه رنگ آبی در چهار نمونه از ۰/۵ تا ۰/۸ درصد وزنی متغیر است. در این نمونه‌ها نیز به ترتیب مقادیری اکسید مس و اکسید روی در محدوده ۰/۷-۰/۹ درصد وزنی و ۰/۴-۰/۴۴ درصد وزنی وجود دارد. علاوه بر این اکسیدهای فلزی حدود ۰/۸-۱/۸ درصد وزنی Fe_2O_3 (آهن «III» اکسید) اندازه‌گیری می‌شود. همچنین، در دو نمونه بی‌رنگ (نمونه‌های ۴ و ۱۲)، همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده، غلظت Fe_2O_3 (آهن «III» اکسید) به عنوان تنها ماده رنگ آمیزی در نمونه‌ها در بازه ۰/۲۸-۱/۰ درصد وزنی است. با این حال، غلظت MnO (اکسید منگنز «II») در این نمونه‌ها که معمولاً برای عوامل رنگ‌دهنده استفاده می‌شود در محدوده ۰/۱۴-۰/۶ درصد وزنی است و می‌توان نتیجه گرفت که MnO (اکسید منگنز «II») به احتمال زیاد به طور عمدی به عنوان ماده ضد رنگ به روند تولید اضافه می‌شده است. همچنین، همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده است، نمونه‌های سبز در دو گروه مختلف طبقه‌بندی می‌شوند. در گروه اول که شامل نمونه‌های ۳، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۵، ۱۹ و ۲۱ است، محتوای Fe_2O_3 (آهن «III» اکسید) در محدوده ۰/۳-۱/۸ درصد وزنی است و اکسید منگنز کمتر از ۰/۵ درصد وزنی است، رنگ سبز به دلیل وجود اکسید آهن موجود در سیلیس به عنوان ناخالصی قابل معرفی است.

CaO به عنوان عناصر اصلی در نمونه‌های شیشه، مطابقت خوبی دارند. خطاهای تحلیلی نسبی و حداقل سطح قابل تشخیص یا محدودیت‌های تشخیص (LOD) برای تمام عناصر موجود در خرده شیشه‌های A و B نیز در جدول (۲) گزارش شده است.

تجزیه و تحلیل

ترکیب اولیه ۱۹ نمونه شیشه آنالیز شده به صورت اکسید (به استثنای کلر) از نظر درصد وزن (درصد وزنی) در جدول (۳) آورده شده است. همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده، ترکیبات اصلی تشکیل‌دهنده این شیشه‌ها ۶۳-۷۲ درصد وزنی SiO_2 (سیلیسیم دی اکسید)، ۱۱-۱۷ درصد وزنی Na_2O (سدیم اکسید) و ۴-۹ درصد وزنی CaO (اکسید کلسیم) است. درصد وزنی این عناصر و محتویات MgO (اکسید منیزیم) و K_2O (پتاسیم اکسید) که بیش از ۲/۵ درصد وزنی است، نشان می‌دهد همه این ظروف شیشه‌ای به جز نمونه شماره (۱۰) مبتنی بر (natron) است، که از شیشه خاکستر سودا-آهک-سیلیس ساخته شده‌اند. (Sayre and Smith, 1961).

همچنین توجه داشته باشید غلظت Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) حاصل از ناخالصی در منابع سیلیس از ۵/۵ تا ۴ درصد وزنی متغیر است. تغییر سایر اجزای این شیشه‌ها یا از ناخالصی منابع سیلیس استفاده شده یا از مواد عمدتاً افزوده شده اعم از مواد ضد رنگ یا مواد رنگ‌دهنده حاصل می‌شود. همان‌طور که در جدول (۱) نشان داده

نمونه های استاندارد	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	Cu ₂ O	ZnO	SrO	SnO ₂	Sb ₂ O ₃	BaO	PbO	
گروه A	اندازه گیری	14.21	2.69	1.12	67.52	0.16	0.12	0.13	2.69	4.71	0.77	1.02	1.12	0.19	0.03	1.19	0.07	0.12	0.51	1.20	0.49	0.09
	اندازه منقول	14.30	2.66	1.00	66.56	0.13	0.10	0.10	2.87	5.03	0.79	1.00	1.09	0.17	0.02	1.17	0.04	0.10	0.19	1.75	0.56	0.12
	انحراف معیار	0.19	0.12	0.10	0.16	0.08	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.12	0.21	0.05	0.02
	خطای نسبی	1.2	1.1	12.0	1.4	23.0	20.0	30.0	6.2	2.5	2.0	2.7	12.0	50.0	1.7	50.0	20.0	-	31.4	12.5	25	
	حد تشخیص	289	238	270	70	230	99	75	80	244	108	28	107	89	45	57	44	205	1537	3585	969	150
گروه B	اندازه گیری	18.11	1.15	3.98	62.10	0.97	0.55	0.22	0.96	7.86	0.10	0.23	0.33	0.04	0.09	2.56	0.21	0.01	n.d	n.d	n.d	0.53
	اندازه منقول	17.00	1.03	4.36	61.55	0.82	0.50	0.20	1.00	8.56	0.09	0.25	0.34	0.05	0.10	2.66	0.16	0.02	0.02	0.46	0.05	0.61
	انحراف معیار	0.21	0.13	0.11	0.16	0.07	0.03	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	-	-	-	0.04
	خطای نسبی	7.2	11.6	8.7	0.9	12.1	10.0	10.0	4.0	8.1	11.1	8.0	2.9	20.0	10.0	5.6	30.0	50.0	-	-	-	13.11
	حد تشخیص	320	269	223	70	231	142	88	77	84	50	22	49	50	40	41	70	160	2620	3821	-	196

جدول ۳: ترکیب اولیه پیشنهادی و اندازه‌گیری شده (براساس % وزنی) ، انحراف معیار (براساس % وزنی)، خطاهای تحلیلی نسبی (براساس %) و حد تشخیص برای کلیه عناصر موجود در شیشه های گروه A و B به عنوان نمونه‌های استاندارد و شیشه‌های مناسب.

Sample No.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	Cu ₂ O	ZnO
S1	16.52	4.57	2.65	63.89	0.46	0.31	0.66	2.96	5.83	0.10	0.01	0.75	1.09	0.03	0.09	0.01
S2	15.53	2.77	1.79	66.01	0.59	0.24	0.47	2.73	6.58	0.07	n.d	0.61	1.73	0.01	0.19	0.44
S3	14.55	6.12	1.69	66.77	n.d	0.32	0.60	2.78	6.01	0.02	n.d	0.29	0.26	n.d	n.d	n.d
S4	14.69	5.24	1.58	69.15	n.d	0.29	0.64	2.18	5.52	0.02	n.d	0.14	0.28	n.d	n.d	n.d
S5	14.37	4.48	3.11	64.11	0.53	0.35	0.47	2.60	6.52	0.14	0.04	1.18	1.31	0.07	0.07	0.18
S6	13.53	3.85	3.95	64.26	0.72	0.35	0.78	2.67	8.36	0.17	0.03	0.20	1.22	n.d	n.d	n.d
S7	12.80	4.35	1.60	71.46	0.46	0.21	0.69	2.24	5.38	n.d	n.d	0.41	0.32	n.d	n.d	n.d
S8	10.79	3.32	3.26	63.69	0.72	0.89	1.54	3.70	8.70	0.31	n.d	0.38	1.76	n.d	n.d	n.d
S9	14.02	3.91	2.55	65.59	0.39	0.26	0.43	2.74	7.65	0.11	0.04	0.89	1.20	n.d	0.06	0.07
S10	12.19	0.96	4.01	70.52	0.18	n.d	0.81	0.76	9.57	0.08	n.d	0.04	0.67	n.d	n.d	n.d
S11	16.65	3.25	3.75	63.76	0.65	0.50	0.61	2.91	6.22	0.19	0.02	0.09	1.22	n.d	n.d	n.d
S12	15.09	3.30	2.31	65.27	0.31	0.32	0.78	2.26	7.37	0.11	n.d	1.71	1.08	n.d	n.d	n.d
S13	14.44	2.38	3.57	65.17	0.48	0.25	0.39	3.35	5.48	0.27	n.d	2.01	1.84	n.d	0.07	n.d
S14	16.39	2.28	3.23	66.51	0.66	0.38	0.79	2.84	3.83	0.24	n.d	1.66	1.13	n.d	n.d	n.d
S15	16.98	3.61	1.83	65.86	0.41	0.52	1.12	3.86	5.05	0.07	0.03	0.10	0.56	n.d	n.d	n.d
S16	11.30	5.16	2.30	71.23	n.d	0.43	0.61	2.66	4.83	0.10	n.d	0.84	0.55	n.d	n.d	n.d
S19	17.15	4.08	1.87	64.83	0.75	0.26	0.96	2.72	6.18	0.13	n.d	0.04	0.77	0.08	0.12	0.06
S21	15.36	3.86	3.63	62.83	0.49	0.43	0.60	3.11	7.79	0.19	n.d	0.04	1.60	n.d	n.d	n.d
S22	14.26	3.55	2.49	65.67	0.32	0.30	0.60	2.43	6.33	0.16	n.d	3.03	0.82	n.d	0.03	n.d

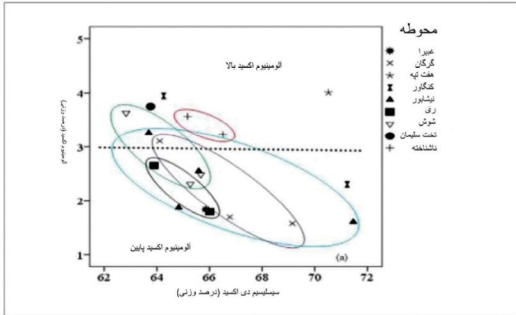
جدول ۳: نتایج ترکیب اولیه نمونه‌های آنالیز شده در این مطالعه براساس درصد وزنی از انواع اکسیدها (n.d = شناسایی نشده‌است).



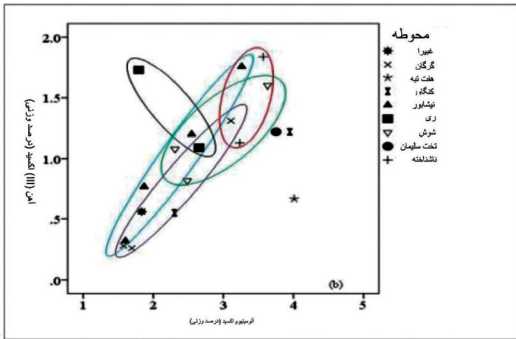
در گروه دوم که شامل نمونه‌های ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۲۲ است، با وجود این واقعیت که مقدار اکسید منگنز بالاتر از اکسید آهن است، ظروف شیشه‌ای هنوز رنگ سبز دارند که نشان می‌دهد، اکسید آهن به درستی کاهش نیافته است.

به منظور دستیابی به بینش بهتر از تغییرات شیمیایی ترکیبات اصلی شیشه، آنها به شکل گرافیکی در تصاویر 3c-3a ارائه شده‌اند. غلظت اکسید سیلیسیم در برابر اکسید آلومینیوم و اکسید آلومینیوم در برابر اکسید آهن برای نمونه‌های تحلیل شده در این مطالعه در تصویر 3a و 3b به منظور بررسی مواد اولیه سیلیس مورد استفاده در فرآیند تولید نشان داده شده. همان‌طور که در تصویر 3a نشان داده شده، تقریباً در همه نمونه‌ها به استثنای نمونه‌های ۴، ۷، ۱۰ و ۱۶، تغییرات در محتوای سیلیس بسیار کم است و از ۶۳ تا ۶۶ درصد وزنی متفاوت است. تصویر 3a همچنین نشان می‌دهد تغییرات در محتوای آلومینیوم اکسید بسیار زیاد است و از ۱/۵ تا ۴ درصد وزنی متفاوت است. بنابراین، بر اساس غلظت آلومینیوم اکسید و سیلیس، می‌توان منابع مختلف سیلیس را برای تجزیه و تحلیل نمونه‌ها در نظر گرفت. همان‌طور که به صورت خط چین در تصویر 3a نشان داده شده است. با توجه

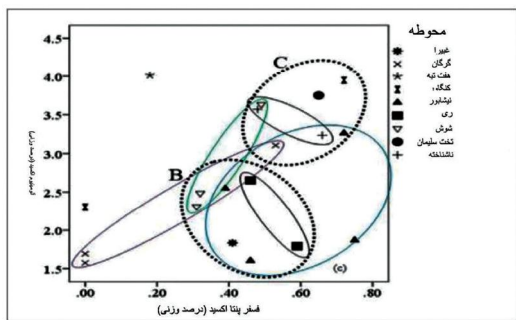
به تقسیم‌بندی گزارش شده به عنوان مرجع (Lima et al., 2012)، در نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده مطالعه حاضر، می‌توان منابع مختلف سیلیس مورد استفاده در فرآیند تولید را توصیف کرد: منابع سیلیس تقریباً خالص (حدود ۳۰/۵ درصد وزنی آلومینیوم اکسید) و تقریباً منابع ناخالص سیلیس (بالاتر از ۳ درصد وزنی آلومینیوم اکسید) است. همچنین واضح است که نمونه‌هایی که در تصویر 3a به صورت بیضی نشان داده شده‌اند، خوشه‌ای هستند. به عنوان مثال، اشیاء حفاری شده در گرگان، شوش و نیشابور از مواد اولیه سیلیس با آلومینیوم اکسید متوسط و نمونه‌های کشف شده در کنگاور و تخت سلیمان از سیلیس با آلومینیوم اکسید بالا (بیش از ۳ درصد وزنی آلومینیوم اکسید) استفاده کرده‌اند. از طرف دیگر، از آنجا که چند نمونه مورد تجزیه و تحلیل از همان سایت‌ها (گرگان، شوش و نیشابور) تنوع زیادی در غلظت آلومینیوم اکسید را نشان می‌دهد، می‌توان ادعا کرد که ممکن است مراکز مختلفی در این مکان‌های اسلامی یا پیرامون اسلامی وجود داشته باشد که در آنها تولید مصنوعات شیشه‌ای امکان‌پذیر بود یا حتی ممکن است امکان ورود این مصنوعات شیشه‌ای از خارج ایران به این مکان‌ها وجود داشته باشد. علاوه بر این، در نمونه‌های ۱۰، ۷ و ۱۶ که غلظت SiO_2 (سیلیسیم دی اکسید) بالاتر از ۷۰ درصد وزنی است و غلظت Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) بسیار متغیر است و از ۱/۵ تا ۴ درصد وزنی متفاوت است، همچنین یکی دیگر از نشانه‌های وجود منابع مختلف سیلیس در شیشه‌سازی می‌باشد.



تصویر 3a: نمودار پراکندگی در درصد وزنی SiO_2 (سیلیسیم دی اکسید) در مقابل Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) برای همه نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده از سایت‌های مختلف در این مطالعه خط نقطه‌دار منابع مختلف سیلیس را نشان می‌دهد. بیضی‌های رنگی نشان می‌دهد که نمونه‌هایی از همان مکان‌ها به هم پیوسته‌اند: گرگان (بنفش)، نیشابور (آبی)، ری (سیاه)، شوش (سبز)، ناشناخته (قرمز).



تصویر 3b: نمودار پراکندگی در درصد Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) در برابر Fe_2O_3 (آهن III اکسید) برای همه نمونه‌های تجزیه و تحلیل از سایت‌های مختلف در این مطالعه، بیضی‌های رنگی نشان می‌دهد نمونه‌هایی از همان مکان‌ها به هم پیوسته‌اند: گرگان (بنفش)، نیشابور (آبی)، ری (سیاه)، شوش (سبز)، ناشناخته (قرمز).



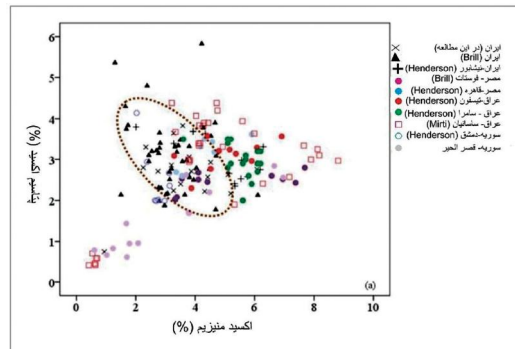
تصویر 3c: نمودار پراکندگی در درصد P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) در برابر Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) برای همه نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده از سایت‌های مختلف در این مطالعه. از نظر تغییرات P_2O_5 و Al_2O_3 توسط بیضه‌های متلاشی شده می‌توان دو گروه اصلی را شناسایی کرد. همچنین، بیضی‌های رنگی نشان می‌دهد که نمونه‌هایی از همان مکان‌ها به هم پیوسته‌اند: گرگان (بنفش)، نیشابور (آبی)، ری (سیاه)، شوش (سبز)، ناشناخته (قرمز).



طول فرآیند تولید وارد نمونه‌ها نشده است. طبق مطالب ارائه شده، مطالعات انجام شده برای شیشه‌های اسلامی مناطق دیگر (Duckworth et al., 2014; Henderson, 2013) و همچنین شیشه‌های آنگلو-ساکسون (Freestone et al., 2008) نیز وجود چنین همبستگی خطی بین اکسید آلومینیوم و اکسید آهن ناشی از سیلیس مورد استفاده در فرآیند تولید را گزارش می‌دهند.

علاوه بر این، تجزیه و تحلیل محتویات اکسید فسفات در برابر اکسید آلومینیوم این نمونه‌ها در شکل 3C نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده، تغییرات اکسید فسفات و اکسید آلومینیوم بسیار زیاد است و از ۰/۸ به ۰/۸ درصد وزنی برای P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) و از ۱/۵ تا ۴ درصد وزنی برای Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) تغییر می‌کند. همان‌طور که در شکل 3C نشان داده شده، دو گروه اصلی را می‌توان شناسایی کرد که توسط بیضی‌های متلاشی نشان داده شده است. در گروه اول، غلظت P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) در محدوده ۰/۶-۰/۲ درصد وزنی متفاوت است و مقدار Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) کمتر از ۳ درصد وزنی است و در گروه دوم، غلظت (فسفر پنتا اکسید) متفاوت است و مقدار P_2O_5 (آلومینیوم اکسید) بالاتر از ۳ درصد وزنی است. در شکل 3C کاملاً واضح است که نمونه‌های همان مکان‌هایی که با بیضی خطی نشان داده شده نیز تمایل دارند که به هم جمع شوند.

به تازگی، (Wypyski 2015) بیش از ۱۰۰ نمونه شیشه اسلامی اولیه از نیشابور را که اکنون در مجموعه موزه هنر متروپولیتن نگهداری می‌شود مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. بر اساس ترکیبات بنیادی، به ویژه P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) در مقابل Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید)، نمونه‌های آنالیز شده از نیشابور به سه گروه تقسیم شده است: در گروه A غلظت P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) کمتر از ۰/۲ درصد وزنی است و غلظت Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) کمتر از ۱/۵ درصد وزنی در گروه B غلظت P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) از ۰/۲ تا ۰/۵ درصد وزنی و غلظت Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) از ۱/۵ تا ۳ درصد وزنی متفاوت است و در گروه C غلظت P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) از ۰/۵ تا ۰/۷ درصد وزنی و غلظت Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) بیش از ۳ درصد وزنی متفاوت است. مقایسه نتایج حاصل از مطالعه حاضر با سه گروه شناسایی شده توسط Wypyski به وضوح نشان می‌دهد بیشتر ظروف شیشه‌ای آنالیز شده در این مطالعه در گروه‌های B و C قرار می‌گیرد. همان‌طور که با بیضی‌های چین خورده در شکل 3C نشان داده شده؛ و گروه اول مربوط به ۰/۶-۰/۲ درصد وزنی P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) با مقدار Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) کمتر از ۳ درصد وزنی و گروه دوم با P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) بالا (۰/۵-۰/۸ درصد وزنی) و Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) بیش از ۳ درصد وزنی متفاوت است. علاوه بر این، مشخص است که نمونه‌های کشف شده در شوش، نیشابور، ری، کنگاور و غیره در گروه B طبقه‌بندی می‌شوند و نمونه‌های حفر



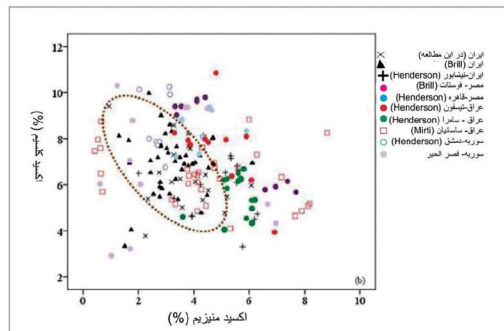
تصویر 4a: طرح پراکندگی در درصد MgO (اکسید منیزیم) در مقابل K_2O (پتاسیم اکسید) برای همه نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده در این مطالعه و گزارش داده‌ها از ایران، سوریه، مصر (Henderson et al., 2016; Brill, 1999) و عراق (Henderson et al., 2016; Mirti et al., 2008).

تجزیه و تحلیل محتویات اکسید آلومینیوم در برابر اکسید آهن این نمونه‌ها در شکل 3B نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده، غلظت اکسید آهن در این نمونه‌ها بین ۰/۳ تا ۱/۸ درصد وزنی متغیر است. با توجه به این واقعیت که اکسید آهن نیز یکی از ناخالصی‌های سیلیس است، سرخ‌ی در مورد منابع مختلف سیلیس در فرآیند شیشه‌سازی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل 3B نشان داده شده، به نظر می‌رسد طرح Fe_2O_3 (آهن (III) اکسید) در مقابل Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) به عنوان دو ناخالصی اصلی در سیلیس نیز می‌تواند منابع مختلف مواد خام سیلیس مورد استفاده در فرآیند ساخت ظروف شیشه‌ای ایرانی را نشان دهد. با توجه به شکل 3B می‌توان گروه‌های اصلی مختلفی را برای مواد اولیه سیلیس نسبت داد: گروه اول تقریباً منابع خلوص سیلیس (کمتر از ۳ درصد وزنی آلومینیوم اکسید و کمتر از ۱ درصد وزنی اکسید آهن) و گروه دوم سیلیس با ناخالصی بالا (بیش از ۳ درصد وزنی آلومینیوم اکسید و بیش از ۱ درصد وزنی اکسید آهن). علاوه بر این، واضح است که نمونه‌های کشف شده در همان مکان‌ها نیز در همان گروه طبقه‌بندی می‌شوند که توسط بیضی‌ها در شکل 3B نشان داده شده است. به عنوان مثال، اشیاء حفاری شده در نیشابور، شوش و گرگان از مواد اولیه تقریباً خالص سیلیس استفاده کرده‌اند و تعداد کمی از نمونه‌های کشف شده در تخت سلیمان و کنگاور از منابع سیلیس با ناخالص بالا و نمونه‌های یافت شده در شوش و نیشابور از هر دو استفاده کرده‌اند (منابع خالص و ناخالص بیشتر).

با این حال، همان‌طور که در شکل 3B نشان داده شده، تقریباً یک رابطه خطی بین اکسید آلومینیوم و اکسید آهن در همه نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده به جز نمونه‌های ۱ و ۲ وجود دارد. با توجه به وجود این همبستگی خطی، می‌توان نتیجه گرفت که اکسید آهن موجود در این نمونه‌ها ناشی از ناخالصی در منابع سیلیس بوده و به طور عمدی به عنوان ماده رنگی (عامل رنگ آمیزی) در



شده در تخت سلیمان، شوش و یک نمونه از گرگان در گروه C طبقه‌بندی می‌شوند، همان‌طور که در بیضی شکل 3c نشان داده شده‌است. در نتیجه، تغییر در غلظت اکسید فسفر نشان می‌دهد که نمونه مکان‌های مختلف احتمالاً توسط خاکسترهای مختلف گیاهان تهیه می‌شده‌است. (Jackson and Cottam, 2015; Henderson, 2013). داده‌های ما در مورد ترکیب شیشه‌های اولیه اسلامی یافت شده در ایران با ترکیب گزارشات شیشه‌های هم سطح از مناطق دیگر از جمله مصر، سوریه و عراق مقایسه شد. (Henderson et al., 2016; Mirti et al., 2008; Brill, 1999). سایت‌های گزارش شده شامل تیسفون، سامرا و وه-اردشیر در عراق، فوستات و قاهره در مصر، قصر الحیر و دمشق در سوریه است. آنالیز شیشه از سایت‌های ایران مانند نیشابور، تخت سلیمان، همدان و گرگان توسط بریل (۱۹۹۹) و نیشابور توسط هندرسون و دیگران گزارش شده و نیز مورد مقایسه قرار گرفتند (۲۰۱۶). همان‌طور که در جدول (۱) نشان داده شده است، به استثنای دو نمونه بی‌رنگ، تمام نمونه‌های مورد تجزیه و تحلیل در این مطالعه شیشه‌های رنگی بودند، بنابراین برای مقایسه نتایج ما با نیشابور و سایر سایت‌های ایران، ما فقط از ترکیبات اساسی برای رنگ‌های مختلف شیشه استفاده کرده‌ایم که توسط بریل گزارش شده‌است (۱۹۹۹). سرانجام، شیشه‌های اوایل ساسانیان (Mirti et al., 2008) نیز در این مطالعه مورد توجه قرار گرفتند.



تصویر 4b: طرح پراکندگی در درصد MgO (اکسید منیزیم) در مقابل CaO (اکسید کلسیم) برای همه نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده در این مطالعه و گزارش داده‌های ایران، سوریه، مصر (Henderson et al., 2016; Brill, 1999) و عراق (Henderson et al., 2016; Mirti et al., 2008). بیشتر نمونه‌های ایران در این کار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و Brill در بیضی تعریف شده در نمودار پراکندگی قرار می‌گیرد.

تصویر 4a و 4b پس از ترکیب داده‌های ما با سایر مطالعات، نمودارهای پراکندگی درصد وزنی اکسید منیزیم در برابر اکسید پتاسیم و اکسید کلسیم را نشان می‌دهند (Free-stone, 2006). در این تصاویر، نمونه‌های شیشه‌ای ایرانی با نمادهای خاکستری و سیاه نشان داده می‌شوند، در حالی که نمونه‌های مناطق دیگر دارای نمادهای رنگی مختلف هستند. با غلظت‌های معمول MgO (اکسید

منیزیم) و K_2O (پتاسیم اکسید) بیش از ۲٪، شکل 4a نشان می‌دهد که تمام نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده در این مطالعه (به استثنای نمونه 10) و همچنین اکثر نمونه‌های مناطق دیگر، شیشه‌ها دارای خاکستر گیاه، سودا - آهک - سیلیس است (Sayre and Smith, 1961). همچنین در نمودار MgO (اکسید منیزیم) در برابر K_2O (پتاسیم اکسید) می‌توان مشاهده کرد:

۱. بسیاری از نمونه‌های ایران در این کار «بی‌سقوط» در بیضی‌های تعریف شده در تصویر پراکنده هستند و در مقایسه با نمونه‌های سامرا و ساسانیان در عراق تمایل به تخلیض MgO (اکسید منیزیم) کمتری دارند.

۲. واضح است که «انتقال» یا همزیستی شیشه با پایه خاکستر و ناترون در سلسله ساسانیان مشاهده می‌شود، همین امر در مورد نمونه‌های قصر الحیر در سوریه صادق است.

۳. بیضی این تصویر همچنین هم سایت تولید شیشه از مصر (قاهره و فوستات) و هم تا حدودی نمونه‌های آن را از دمشق نشان می‌دهد.

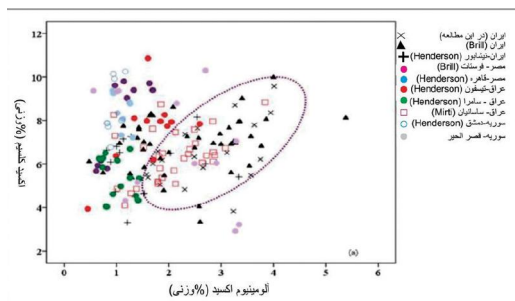
نمودار پراکندگی CaO (اکسید کلسیم) در مقابل MgO (اکسید منیزیم) شکل 4b نمونه‌هایی از مصر را حذف می‌کند و بنابراین تنها شباهت با دمشق و گروهی از نمونه‌های ساسانی حفظ می‌شود. سرانجام، نتایج حاصل از بریل (۱۹۹۹) برای نمونه‌های ایرانی همان نتایجی است که اکنون به دست آمده است، اما نتایجی که هندرسون به دست آورده، این‌گونه نیست.

با توجه به این نکته که تغییرات غلظت‌های MgO (اکسید منیزیم)، K_2O (پتاسیم اکسید) و CaO (اکسید کلسیم) غالباً با منابع مختلف تأمین کننده خاکستر مرتبط است، می‌توان نتیجه گرفت منابع تأمین کننده خاکستر گیاهی مورد استفاده در فرآیند تولید شیشه در ایران با منابع مطالعاتی در عراق، مصر و سوریه متفاوت است.

علاوه بر این، در شکل 4a مشاهده می‌شود نمونه 10 این مطالعه را می‌توان با شیشه‌هایی از نوع ناترون از قصر الحیر در سوریه و تعداد کمی شیشه‌های ساسانی در عراق مشابه دانست. از طرف دیگر، مقایسه بین ترکیب اولیه نمونه 10 و میانگین ترکیب اولیه ۴ گروه شناسایی شده توسط فلپس و همکاران (۲۰۱۶). برای شیشه‌های مبتنی بر ناترون از مکان‌های باستان‌شناسی کاملاً مشخص از منطقه مدیترانه شرقی نشان می‌دهد، غلظت همه عناصر موجود در این نمونه را می‌توان در گروهی با برجسب N-1 (Levantine) قرار داد. با توجه به این نتایج، می‌توان نتیجه گرفت در اوایل دوره اسلامی بین شیشه ساز ایرانی و تولید شیشه فلسطین و مصر تشابهات زیادی در زمینه مواد اولیه یا مصنوعات شیشه‌ای تمام شده وجود دارد.

علاوه بر این، تصویر 5a و 5b از نظر اکسید کلسیم نمودار پراکندگی در درصد وزنی اکسید آلومینیوم را نشان می‌دهند. (Rehren et al., 2015; Gliozzo et al., 2015; Bugoi et al., 2013; Freestone, 2006) و اکسید فسفات

ماده رنگی وجود دارد در حالی که محتویات اکسید آهن از ناخالصی‌های منابع سیلیس استفاده می‌شود و عمدتاً به عنوان ماده رنگی اضافه نشده است.



از آنجا که Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) و Fe_2O_3 (آهن «III»)

تصویر 5a: طرح پراکندگی در درصد Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) در مقابل CaO (اکسید کلسیم) برای همه نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده در این مطالعه و گزارش داده‌ها از ایران، سوریه، مصر (Brill, 1999; Henderson et al., 2016) و عراق (Henderson et al., 2016; Mirti et al., 2008). بیشتر نمونه‌های ایران در این کار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و Brill در بیضی تعریف شده در نمودار پراکندگی قرار می‌گیرد.

اکسید) دو گزینه اصلی در ناخالصی‌های موجود در سیلیس هستند که در مواد اولیه این شیشه‌ها استفاده می‌شود، به نظر می‌رسد از منابع مختلف سیلیس در فرآیند تولید شیشه در سایت‌های مختلف در ایران استفاده می‌شود. حداقل سه منبع مختلف سیلیس برای نمونه‌های مورد تجزیه و تحلیل بر اساس غلظت SiO_2 (سیلیسیم دی اکسید)، Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) و Fe_2O_3 (آهن «III» اکسید) مشخص شد. با این حال، اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد محتوای Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) و P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) در نمونه‌های این مطالعه دارای تنوع شدیدی با تمایل به ارائه غلظت P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) و Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) بالاتر از نمونه‌های سایر مناطق نزدیک است که برای مقایسه استفاده می‌شود.

علاوه بر این، مقایسه نتایج حاصل از مطالعه حاضر با سه گروه مشخص شده توسط Wypyski به وضوح نشان می‌دهد که بیشترین ظروف شیشه‌ای مورد تجزیه و تحلیل در این گروه در گروه B و C قرار می‌گیرد و مربوط به P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) بالا و Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) بالاست و این نوع شیشه احتمالاً در ایران و شاید Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) بالا، P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) بالا، شاخصه شیشه ایرانی است.

علاوه بر این، مقایسه بین ترکیب شیمیایی شیشه‌های اسلامی اولیه از ایران و شیشه‌های مناطق دیگر در خاورمیانه و بین‌النهرین بر اساس داده‌های گزارش شده از عراق، سوریه و مصر نشان می‌دهد شیشه‌های ایرانی را می‌توان از نمونه‌های سامرا و ساسانیان در عراق تشخیص داد و همچنین از نظر غلظت MgO (اکسید منیزیم) و K_2O (پتاسیم اکسید) قابل مقایسه با نمونه دمشق در سوریه

در برابر اکسید آلومینیوم (Wypyski, 2015) برای مطالعه نمونه‌های این پژوهش با شیشه‌های آنالیز شده از مصر، عراق و سوریه مقایسه شد (Henderson et al., 2016; Mirti et al., 2008; Brill, 1999). شکل (5a) نشان می‌دهد تمام نمونه‌های مورد تجزیه و تحلیل در این پژوهش و همچنین اکثر نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده توسط (Brill 1999) و گروه بزرگی از نمونه‌های ساسانیان (Mirti و همکاران، ۲۰۰۸) در بیضی تعریف شده در نمودار پراکندگی قرار می‌گیرند و در مقایسه با نمونه‌های مصر و سوریه تمایل به غلظت Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) بیشتری دارند.

علاوه بر این، بر اساس تصویر (5b)، نمونه‌های این مطالعه همان‌طور که توسط خط تیره نشان داده شده در مقایسه با نمونه‌های سایر مناطق در خاورمیانه و بین‌النهرین کاملاً متفاوت است. نمونه‌های ایرانی در این مطالعه غلظت P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) و Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) بالاتری در مقایسه با شیشه‌های مناطق دیگر دارند که برای مقایسه نمونه‌ها در این مطالعه استفاده شده‌اند. در نتیجه، تغییر در غلظت اکسید فسفر نشان می‌دهد نمونه‌ها در مکان‌های مختلف احتمالاً توسط خاکسترهای مختلف گیاهی تهیه شده است (Jackson and Cottam, 2013; Henderson, 2015). علاوه بر این، (Wypyski, 2015) بر اساس نمودار P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) در مقابل Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) نتایج به دست آمده نشان می‌دهد شیشه‌های اولیه اسلامی از نیشابور را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد که B، A و C نام گذاری شده‌اند. مقایسه نتایج حاصل از مطالعه حاضر با سه گروه شناسایی شده توسط Wypyski به وضوح نشان می‌دهد که بیشترین ظروف شیشه‌ای مورد تجزیه و تحلیل در این گروه در گروه B و C قرار می‌گیرند که مطابق با P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) کمتر از ۳ درصد وزنی و Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) کمتر از ۵-۸ درصد وزنی است و گروه بعدی فسفر پنتا اکسید P_2O_5 (۳-۵ درصد وزنی) است. بنابراین، اشیا شیشه‌ای ساخته شده در ایران دارای محتوای زیاد Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) و P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) زیاد هستند که احتمالاً بارزترین ویژگی شیشه‌های ایرانی است. اگرچه، درجه بالایی از پراکندگی در نمونه‌ها در ایران نشان می‌دهد که ممکن است از مواد اولیه مختلفی در فرآیند تولید استفاده شده است.

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف تعیین نوع شیشه و مواد اولیه مورد استفاده در تولید شیشه‌های اولیه اسلامی ایرانی و مقایسه نتایج و ترکیب شیمیایی ما با داده‌های گزارش شده از عراق، سوریه و مصر انجام شده است. درصد وزنی شیشه‌ها در این مطالعه نشان می‌دهد همه این ظروف شیشه‌ای به جز یکی، از خاکستر سودا - آهک - سیلیس ساخته شده‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که عناصری مانند کبالت، مس و روی نیز در بعضی از نمونه‌ها به عنوان



Corning Museum of Glass, New York.

Bugoi, R., Poll, I., Mănuclu-Adameşteanu, G., Neelmeijer, C., Eder, F., 2013. Investigations of Byzantine glass bracelets from Nufăru, Romania using external PIXE-PIGE methods. *J. Archaeol. Sci.* 2891–2881, (7) 40.

Burney, C., 1970. Excavation at Haftvan Tepe 1968. *J. Iran VIII*, 171–157.

Campbell, J.L., Boyd, N.I., Grassi, N., Bonnick, P., Maxwell, J.A., 2010. The Guelph PIXE software package IV. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sec. B* 3363–3356, (20) 268. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2010.07.012>.

Duckworth, C.N., Cordoba de La Llave, R., Faber, E.W., Govantes Edwards, D.J., Henderson, J., 2014. Electron microprobe analysis of 9th–12th century islamic glass from Córdoba Spain. *Archaeometry* 50–27, (1) 57.

Faryadian, B., 2009. First Report Exploring of the Historic City Saymareh. IRAN Institute of Archaeology (in Persian) Unpublished.

Freestone, I.C., 2006. Glass production in Late Antiquity and the Early Islamic period: a geochemical perspective. In: Maggetti, M., Messiga, B. (Eds.), *Geomaterials in Cultural Heritage*. The Geological Society, London, UK, pp. 216–201.

Freestone I. C., Hughes, M. J., Stapleton, C. P., 2008, *The Composition and Production of Anglo-Saxon Glass*, Catalogue of Anglo-Saxon glass in the British Museum.

Ghirshman, R., 1963, *L' Elam et les, Recharches a Dur-Untash (Tchogha Zambil), Iranica Antiqua* 3, pp.21–1.

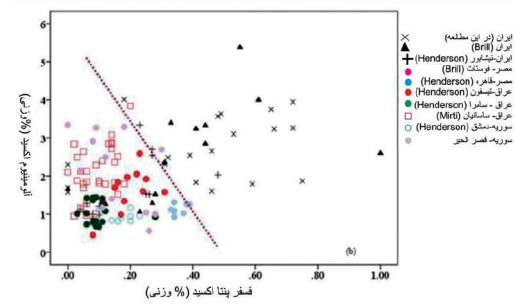
Gliozzo, E., Lepri, B., Saguì, L., Memmi, I., 2015. Glass ingots, raw glass chunks, glass wastes and vessels from fifth century AD Palatine Hill (Rome, Italy). *Archaeol. Anthropol. Sci.* <https://doi.org/10.1007/s-12520-0292-015x>.

Grime, G.W., Watt, F., 1988. Focusing protons and light ions to micron and submicron dimensions. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 30 234–227, (3).

Henderson, J., 2013. *Ancient Glass: An Interdisciplinary Exploration*. Cambridge University Press.

است. از طرف دیگر می توانیم برخی از شباهت‌های MgO (اکسید منیزیم) و K_2O (پتاسیم اکسید) را بین شیشه‌های ایرانی با نمونه‌های فوستات در مصر و قصرالحیر در سوریه مشاهده کنیم. به طور خاص، نمونه ۱۰ از این مطالعه که شیشه‌ای مبتنی بر ناترون است که متناسب با شیشه‌های نوع ناترون از سوریه است. همچنین، مقایسه بین ترکیب مقدماتی این نمونه و میانگین ترکیب عنصری ۴ گروه شناسایی شده توسط «فلیس» برای شیشه‌های مبتنی بر ناترون از زمینه‌های باستان‌شناسی از منطقه مدیترانه‌ای شرقی - فلسطین نشان می‌دهد غلظت همه عناصر را می‌توان در گروه نام‌گذاری شده با ۱۰-N قرار داد (Levantine).

با توجه به این نتایج می‌توان نتیجه گرفت ممکن است در اوایل دوره اسلامی بین تولیدکنندگان شیشه ایرانی و تولید شیشه فلسطین، سوریه یا مصر در مواد اولیه و با شیشه‌های تمام شده ارتباطاتی از راه دور وجود داشت.



تصویر 5b: طرح پراکندگی در درصد P_2O_5 (فسفر پنتا اکسید) در مقابل Al_2O_3 (آلومینیوم اکسید) برای همه نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده در این مطالعه و گزارش داده‌ها از ایران، سوریه، مصر (Brill, 1999; Henderson et al., 2016) و عراق (Henderson et al., 2016; Mirti et al., 2008). خط نقطه چین نمونه‌های این مطالعه را در مقایسه با نمونه‌های سایر مناطق در خاورمیانه و بین‌النهرین کاملاً جدا می‌کند.

منابع

Arne, T.J., 1945. Excavation at Shah Tepe. Published In Stockholm, Iran.

Baker, P., 2000. In: Bivar, A.D.H. (Ed.), *Glass Finds, Excavation Of Ghubayra, Iran*. Published by the school of oriental and African Studies, University of London.

Bivar, A.H., Fehérvéri, G., 1972. Ghubayra, survey of excavations. *J. Iran X*, 168–167.

Bivar, A.H., 2000. Excavation of Ghubayra, Iran. Published by the School of Oriental and African Studies University of London.

Brill, R.H., 1999. *Chemical Analyses of Early Glasses*.





- Ilam and Institute Publications of Pazineh.
- Lima, A., Medici, T., Pires de Matos, A., Verità, M., 2012. Chemical analysis of 17th century Millefiori glasses excavated in the Monastery of Sta Clara-a-Velha, Portugal: comparison with Venetian andfaçon-de-Venise production. *J. Archaeol. Sci.* 39, 1248–1238.
- Mahfrozzi, A., Piller, C., Ghasemi, S., Bagherpour, N., Neumann, T., Ögüt, B., 2009. First preliminary report on the joint Iranian-German excavations at Gohar TappeMāzandarān, Iran. *Archäol. Mitt Iran Turan* ,41 209–177.
- Marcus, M., 1991. The Mosaic Glass Vessels from Hasanlu, Iran: a study in large-scale stylistic trait distribution. *Art Bull.* 560–536 ,(4) 73.
- Mirti, P., Pace, M., Negro Ponzi, M.M., Aceto, M., 2008. ICP–MS analysis of glass fragments of Parthian and Sasanian epoch from Seleucia And Veh- Ardašir (Central Iraq). *Archaeometry* 450–429 ,50.
- Mortezaie, M., 2004. Second Season Report of Archaeological Excavations Jorjan. IRAN Institute of Archaeology (in Persian) Unpublished.
- Negahban, E.O., 1994. Marlik Mosaic Cup, History and Archaeology Journal, the First and Second Number, Serial Number 13 and 14, Persian Language. Tehran University Publishing Center.
- Norouzzadeh Chegini, N., Assadi, A., 2017. The Final Report of Researches the Estakhr City. Iran Institute of Archaeology (in Persian) Unpublished.
- Phelps, M., 2018. Glass supply and trade in early Islamic Ramla: an investigation of the plant ash glass. In: *Things that Travelled: Mediterranean Glass in the First Millennium CE*. UCL Press, London, pp. 282–236.
- Phelps, M., Freestone, Ian C., Gorin-Rosen, Y., Gratuze, B., 2016. Natron glass production and supply in the late antique and early medieval Near East: the effect of the Byzantine-Islamic transition. *J. Archaeol. Sci.* ,75 71–57.
- Ponzi, N., Mariamaddalena, 71–1970,. Islamic glassware from Seleucia. *J. Mesopotamia* V–VI, 104–67.
- Henderson, J., Chenery, S., Faber, E., Kröger, J., 2016. The use of electron probe microanalysis and laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry for the investigation of 8th–14th century plant ash glasses from the Middle East. *Microchem. J.* 152–134 ,128.
- Jackson, C.M., Cottam, S., 2015. A green thought in a green shade: compositional and typological observations concerning the production of emerald green glass vessels in the 1st century AD. *J. Archaeol. Sci.* 148–139 ,61.
- Kambakhshfard, S.O., 1995. Temple of Anahita Kangavar (Excavations and Archaeological Research and restoration of the Temple of Nahid na Tagh- Gara. Publishing Cultural Heritage Organization.
- Kambakhshfard, S.O., 2007. Excavations and Archaeological Research and Restoration of the Temple Kangavar and Arch-oriented Architecture, Volume I: Monuments and Mythological Beliefs Forgotten. Published by the Research Institute of Cultural Heritage.
- Kervran, M., 1998. How to Transform the City of Susa and Its Economy from the Sassanid era to the Abbasid, Sous la direction de, under Jean Perrot et genevieve Dollfus, translated of Haydeh eghbal, Institut francais de recherché en Iran.
- Kervran, M., 1978. Les Niveaux islamiques du secteur oriental du tepe de IApadana. *DAFI* 41–21 ,4.
- Kiani, M.Y., 1984, *The Islamic City of Gurgan*, IranMitt Suppl, Vol. 11, Berlin.
- Kordmahini, H., 1982. *The Glass of Chapter Seven of The Islamic City of Gorgan*. Verlag von Dietrich Reimer, Berlin.
- Kroger, J., 1995. *Nishapur: Glass at the Early Islamic Period*, the Metropolitan Museum of Art, New York.
- Labbaf Khaniki, R.A., 2004. Fourth Quarter Report of Excavated Shadiyakh. IRAN Institute of Archaeology (in Persian) unpublished.
- Lakpour, S., 2011. Excavations and Archaeological Research of Valley City (Saymareh), in Persian. The General Administration of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism of

- Treptow, T., 2007. Daily Life Ornamented The Medieval Persian City of RAYY. University of Chicago.
- Vicenzi, E.P, Eggins, S., Logan, A., Wysoczanski, R., 2002. Microbeam characterization of corning archeological reference glasses: new additions to the smithsonian microbeam standard collection. J. Res. Nat. Inst. Stan. Tech. ,107 727-719.
- Wypyski, M.T., 2015. Chemical analyses of early Islamic glass from Nishapur. J. Glass Stud. 136-121 ,57.
- Rasty Dust, M., 2011. An Initial Report of Exploring the City, Kish. IRAN Institute of Archaeology, (in Persian) Unpublished.
- Rehren, T., Connolly, P., Schibille, N., Schwarzer, H., 2015. Changes in glass consumption in Pergamon (Turkey) from Hellenistic to late Byzantine and Islamic times. J. Archaeol. Sci. 279-266 ,55.
- Sayre, E.V., Smith, R.W., 1961. Compositional categories of ancient glass. Science 133, 1826-1824.
- Schmidt, E., 1935. Rayy Excavation 1936-1934 Seasons. Log Books.
- Swan, C.M., Rehren, T., Lankton, J., Gratuze, B., Brill, R.H., 2017. Compositional observations for Islamic Glass from Sīrāf Iran, in the Corning Museum of Glass collection. J. Archaeol. Sci. Rep. 116-102 ,16.

