پژوهشی پیرامون لوله‌های شیشه‌ای درهای اَل-اونتَش- نپیریشَ آزمایش و مطالعه‌ی آن‌ها با روش فلئورسانس پرتو مجهول[I]

نوید صالح‌وند
دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دوران تاریخی (گروه تاریخ و باستان‌شناسی)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
آرمان شیشه‌گر*
عضو هیأت‌علمی پژوهشکده باستان‌شناسی (پژوهشگاه)
shishegararman@gmail.com
مسلم جعفری‌زاده
دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دوران تاریخی (گروه باستان‌شناسی) دانشگاه تربیت‌مدرس
بهمن فیروزمندی‌شیره‌جینی
استاد گروه باستان‌شناسی دانشگاه تهران
* نویسنده‌ی مسئول

شناسه‌ی دیجیتال (DOI): 10.22084/nbsh.2017.12764.1560
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۴
(از ص ۸۷ تا ۱۰۴)

چکیده
در کاوش‌های «اَل-اونتَش-نپیریشَ» (محوطه‌ی مشهور به «چغازنبیل»)، لوله‌های شیشه‌ای به‌دست آمده که تاکنون تحقیق جامعی درباره‌ی آن‌ها در قالب یک مقاله تحقیقی صورت نگرفته است. این لوله‌ها به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین شیشه‌های ایران و درواقع به‌عنوان عنصری تزیینی در قاب‌های درهای چوبیِ دو لنگه‌ی برخی از نیایشگاه‌های زیگورات چغازنبیل جای گرفته بوده‌اند. لوله‌ها از شیشه‌ی نیمه‌شفاف ساخته شده و درون برخی از آن‌ها قالب‌های میله‌ای از جنس مفرغ هویدا، کشف شده است، از این نوع لوله‌ها تنها از در زیگورات چغازنبیل پیدا شده است. هدف اصلی این مقاله، آشنایی با هنر شیشه‌گری در دوره‌ی عیلام میانه و به‌خصوص این شیشه‌ها است. در ابتدای این پژوهش، باید به چند پرسش اساسی پرداخت؛ نخست، این‌که نمونه‌های مذکور، آیا نمونه‌های مشابهی داشته‌اند؟ و چگونگی راه‌یابی آن‌ها در موزه‌های دنیا به چه شکل بوده است؟ و پرسش‌هایی در مبحث آنالیز مواد که این شیشه‌ها از چه موادی ساخته شده است؟ و عامل اصلی رنگ نمونه‌ی آزمایشی چه بوده است؟ برای پاسخ به این پرسش‌ها از دو روش کتابخانه‌ای و مطالعات آزمایشگاهی استفاده گردیده، و نهایتاً نتایج حاصله از مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که در تهیه‌ی این شیشه از مقدار مناسبی سیلیس به‌عنوان ماده‌ی اصلی و از خاکستر گیاهان به‌عنوان مواد گدازه‌آور و موادی نیز به‌عنوان عامل ایجاد رنگ آبی مورد استفاده قرار گرفته است.

کلیدواژگان: چغازنبیل، لوله‌های شیشه‌ای، سده‌ی ۱۳ ق.م. (عیلام میانی)، فلئورسانس پرتو مجهول.

I. این مقاله مستخرج از رساله‌ی دکتری نوید صالح‌وند با راهنمایی آرمان شیشه‌گر و بهمن فیروزمندی در گروه باستان‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران است.

مقدمه

اونتَش-نپیریشَ، درواقع نام پادشاه سلسله‌ی ایکه-هَلکی در دوره‌ی عیلام میانی است؛ وی، نام خود را بر روی شهری نهاد که در حدود ۴۵ کیلومتری جنوب‌شرقی شوش قرار داشته، که امروزه این شهر را با نام «زیگورات چغازنبیل» (اَل-اونتَش-نپیریشَ) می‌شناسیم. دوران حکومت او به دوران طلایی عیلام شهرت دارد و در حدود سی‌وپنج تا چهل سال بر سرزمین عیلام حکومت کرده است. محوطه‌ی چغازنبیل دارای سه حصار تودرتو و نیایشگاه‌های متعدد و یک زیگورات در مرکز آن است (گیرشمن، ۱۳۷۳؛ ۱۳۷۵؛ آمیه، ۱۳۸۹: ۱۲۴-۱۱۵؛ پاتس، ۱۳۸۵: ۳۲۷، ۳۵۷-۳۴۴؛ Mofidi-Nasrabadi, 2004: 302-304; Amiet, 1966: 333-381).

این شهر مذهبی از ابتدا توجه کاوشگران فرانسوی شوش را ازجمله دومکنم و میشالون را به‌خود معطوف داشت، آن‌ها در این محل به گمانه‌زنی پرداختند (De Mecquenem & Michalon, 1953) و گیرشمن در دهه‌ی ۱۹۶۰ در این محل، نُه فصل کاوش نمود و نتایج کاوش‌های خود را در چهار جلد به چاپ رسانید (Ghirshman,1966; 1968; Steve, 1967; 1967; Porada: 1970؛ گیرشمن، ۱۳۷۳؛ ۱۳۷۵؛ پرادا، ۱۳۷۵؛ استو، ۱۳۷۵)، (شکل‌های ۱-۳).

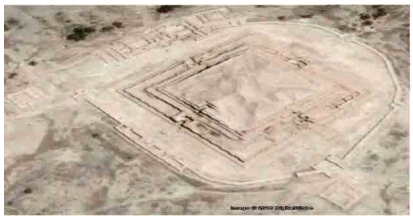
علاوه‌بر معماری بی‌نظیر شهر اونتَش-نپیریشَ، عناصر وابسته به معماری نیز در زیبایی آن نقش مهمی داشته‌اند؛ ازجمله‌ی این عناصر وابسته به معماری شیشه است که در این مقاله پیرامون بررسی لوله‌های شیشه‌ای که به‌شکل شیشه جام[1] در تمام درهای چوبی زیگورات و سایر نیایشگاه‌ها و حتی حصارها به‌کاررفته، پرداخته خواهد شد (گیرشمن، ۱۳۷۳: ۳۲-۳۱).

از آنجایی‌که این آثار در موزه‌های مختلف دنیا پراکنده شده‌اند و مطالعه‌ی جامعی در چگونگی راه‌یابی این آثار با ارزش به آنجا صورت نپذیرفته است و علاوه‌بر آن، ۴ نمونه از این شیشه‌ها در موزه‌ی کرنینگ با دستگاه‌های قدیمی آزمایش شده بود که هیچ‌گاه تحلیلی روی آن انجام نشد؛ بنابراین آزمایش جدید این شیشه‌ها برای شناخت ساختار و ترکیبات شیشه در اواخر هزاره‌ی دوم قبل‌ازمیلاد امری اجتناب‌ناپذیر بود.

پرسش‌های پژوهش: لوله‌های شیشه‌ای از چه راه‌هایی و چگونه وارد موزه‌ها و مجموعه‌ها شده‌اند؟ تکنیک ساخت این آثار چگونه بوده و آیا براساس مطالعات باستان‌سنجی می‌توان تولید این شیشه‌ها را نظام‌مند دانست؟ نمونه‌ی مورد مطالعه از لحاظ ترکیبات با نمونه‌های کرنینگ هم‌خوانی دارد؟ آیا تغییراتی در ترکیب تولید این شیشه‌ها با توجه به کارکرد آن (به‌منظور تزیین درهای معابد) روی‌داده است؟ آیا منابع مواد تشکیل‌دهنده‌ی این شیشه‌ها یکی بوده است؟ و با یک دستورالعمل ساخته‌شده‌اند؟

روش پژوهش: نوشتار پیش‌رو از دور روش در تکمیل پژوهش بهره‌مند شده است؛ نخست، مطالعات کتابخانه‌ای و استفاده از گزارش کاوش‌های منتشر شده و دوم، مطالعات باستان‌سنجی است که به کمک روش آزمایشگاهی فلئورسانس پرتو مجهول با دستگاه Philips-PW2404 در آزمایشگاه دانشکده علوم دانشگاه

تربیت‌مدرس و بر روی یک نمونه‌ی موجود در انبارهای قلعه‌ی شوش انجام شد و اطلاعات نمونه‌ی مورد مطالعه و همچنین چهار نمونه‌ی کرنینگ به نرم‌افزار IBM Spss25 وارد شد و خروجی‌هایی برحسب نیاز از اطلاعات به‌صورت نمودار گرفته شده است.



▲ شکل ۱. عکس هوایی دور اونتَش، محله‌ی مقدس (سیان کوک) و زیگورات چغازنبیل (Google Earth, 2016).

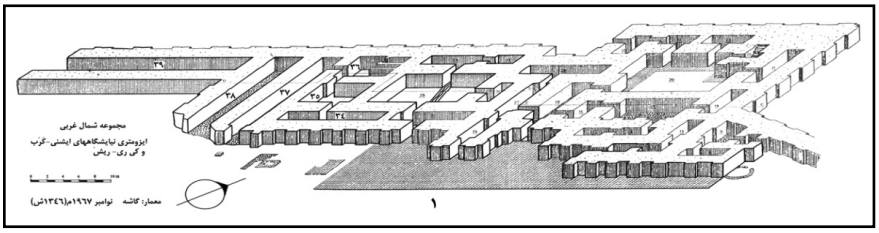
پیشینه‌ی پژوهش

لوله‌های شیشه‌ای زیگورات چغازنبیل نَه فقط در شیشه‌گری، بلکه در تاریخ معماری نیز اهمیت دارد؛ بدیهی‌ست که مطالعه و پژوهش این آثار می‌تواند دریچه‌های نوینی را در حوزه‌های ذکر شده، ایجاد نماید. از کاوش‌های فرانسویان در این محوطه، قطعات زیادی از این شیشه‌ها به‌دست آمد و فقط گیرشمن و همسرش تانیا، نسبت به بقیه‌ی کاوشگران کارکرد درست این آثار را تشخیص دادند؛ هرچند که بازسازی آن‌ها با خطاهایی روبه‌رو بوده است (گیرشمن، ۱۳۷۳: شکل ۲۰). اهمیت این لوله‌ها آن‌قدر بود که سر از موزه‌ها و مجموعه‌های معتبر دنیا درآورد و تاکنون نیز نَه‌تنها هیچ بحثی در مورد چگونگی راه‌یابی این آثار مطرح نشده؛ بلکه پژوهشی بر روی ترکیبات آن‌ها صورت نگرفته است، هرچند رابرت بریل در سال ۱۹۹۹ م. چهار نمونه از قطعات لوله‌های شیشه‌ای موجود در موزه‌ی کُرنینگ را آزمایش کرده، اما این اطلاعات را بدون هیچ تفسیری و فقط به‌صورت جدول عناصر منتشر کرده است(Brill, 1999: 46). تا به امروز نیز هیچ پژوهشگری بر روی این آثار مطالعه‌ای انجام نداده است.

تولیدات بدل‌چینی و شیشه‌ای چغازنبیل

قبل از شروع به مبحث فوق، ابتدا باید به تولیدات لعابی، بدل‌چینی اشاره کرد که به یک‌باره به‌همراه شیشه‌ها در دوره‌ی عیلام میانی ظاهر شدند (پُرادا، ۱۳۵۷: ۸۵)؛ این تولیدات همگی ازنظر مواد اولیه و شیوه‌های ساخت، از یک خانواده محسوب می‌شوند و صنعتگران عیلامی در این زمان و دوره‌ی عیلام نو در دشت

◄ شکل ۲. بقایای امروزی زیگورات چغازنبیل (Google Images).



◄ شکل ۳. کارگاه‌ها و انبارهای الحاقی (اتاق‌های ۳۴ تا ۳۹) در نیایشگاه کی‌ری‌ریشَ غربی (گیرشمن، ۱۳۷۳: شکل ۵۲).

شوش به خلق آثار شیشه‌ای و بدل‌چینی نظیر: مُهرهای استوانه‌ای و قرصک‌های تزیینی (به‌شکل چشم‌های سیاه‌وسفید از شیشه‌ی مات) برای نشاندن روی درها، گُل‌میخ‌ها یا دیوارکوب‌های سفالی، ظروف سردیس‌وار، آجرهای لعاب‌دار و ظروف بدل‌چینی می‌پرداخته‌اند (Barag, 1985: 38؛ مجیدزاده، ۱۳۷۰: ۸۴-۸۱، ۹۲-۹۱).

با توجه به کاوش‌های باستان‌شناسی، این محل احتمالاً یکی از مراکز شیشه‌گری در اواخر نیمه‌ی دوم هزاره‌ی دوم قبل‌ازمیلاد به‌شمار می‌رفت. کارگاه‌ها و انبارهای الحاقی[۲] (اتاق‌های ۳۴ تا ۳۹) نیایشگاه کی‌ری‌ریشَ غربی، الهه یا ایزدبانوی بزرگ، در کنار نیایشگاه ایشنی‌کَرَب، دارای کوره‌هایی هستند که برای ساخت آثاری ازجمله: پیکرک‌های نذری و پیش‌کِشی به نیایشگاه‌ها از گِل و بدل‌چینی فرض شده‌اند که البته ممکن بود به‌عنوان کارگاه و کوره‌ی شیشه‌گری نیز از آن‌ها استفاده شوند (گیرشمن، ۱۳۷۳: ۱۳۰-۱۲۶، شکل ۵۷). گیرشمن در دو اتاق ۳۸ و ۳۹ در این کارگاه، قالب‌های احتمالی بدل‌چینی را کشف می‌کند (گیرشمن، ۱۳۷۳: ۱۱۷، ۱۳۳، شکل ۵۲). آمیه نیز بر این باور است که «کاوش‌های چغازنبیل، قابلیت‌های فنی بی‌شماری را به‌ویژه در زمینه‌ی شیشه‌گری و لعاب به‌کاررفته در تزیینات معماری نمایان ساخته است» و در ضمنِ توصیف نیایشگاه کی‌ری‌ریشَ، این بنا را «مشتمل‌بر کارگاه‌های تولید» اقلام مذهبی، از جنس «خمیر شیشه» می‌داند (آمیه، ۱۳۸۹: ۱۲۲-۱۲۱).

شیشه‌های دوره‌ی عیلام میانه را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد: الف) نمونه‌ی نادر یک ظرف شیشه‌ای با فن‌آوری قالب گِلی مکشوف از شوش (De Mecquenem, 1931: pl. II, Fig 4.2). ب) ۲۶ عدد مُهر استوانه‌ای شیشه‌ای از محوطه چغازنبیل کشف گردید؛ این مُهرها شامل تصاویر خدایان، قهرمانان و کمانداران و همچنین حیوانات و پرندگان است، که در موزه‌های لوور پاریس و موزه‌ی ملی ایران نگهداری می‌شوند (Roach, 2009: 29). ج) لوله‌های شیشه‌ای مکشوف از محوطه‌ی چغازنبیل که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

چگونگی کشف لوله‌های شیشه‌ای چغازنبیل

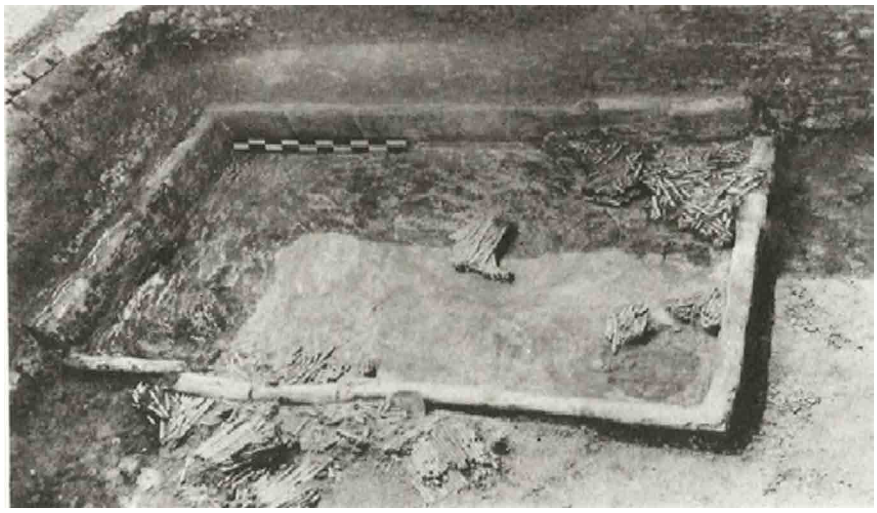
یکی از کشفیات باستان‌شناختی مهم در محوطه‌ی چغازنبیل، لوله‌های شیشه‌ای هستند که نَه‌تنها فقط از این محوطه به‌دست‌آمده‌اند؛ بلکه می‌تواند تاریخچه‌ی اولیه‌ی این هنر در ایران را روشن‌تر سازد. فراوانی این لوله‌های شیشه‌ای و عدم کشف آن‌ها در خارج از محوطه‌ی چغازنبیل نشان می‌دهد که در هنگام بنای این شهر، کارگاهی ویژه‌ی تولید شیشه برپا بوده است و شیشه‌گرانی در آن به این صنعت می‌پرداخته‌اند که بسیار خلاق بوده و دست به ابداع نخستین شیشه‌ی جام جهان زده‌اند تا با آن قاب‌های چوبی درهای نیایشگاه‌ها را بپوشانند (Tait, 1991: 8 -10, Fig. 2, 21-38).

در بین سال‌های ۳۹-۱۹۳۵ و ۱۹۴۶ م. (۱۳۱۴ تا ۱۳۱۸ و ۱۳۲۶ هـ.ش.)، گمانه‌زنی‌های محدودی توسط دومکنم و میشالون در سطح این محوطه انجام شد و تعداد پُرشماری از این لوله‌ها که به گفته‌ی ایشان ۱۰۰ کیلوگرم وزن داشتند؛ از

درگاه‌های موسوم به «بناهای شمال‌شرقی» به‌دست آمد و از این لوله‌های شیشه‌ای به‌عنوان مُهره‌های شیشه‌ای (به رنگ‌های آبی تیره و سفید یا زرد) یاد می‌کردند؛ هرچند به کاربرد آن‌ها در این سازه پی نبرده بودند، اما ورق‌های مسی همراه آن‌ها را به‌عنوان بخش‌هایی از در شناسایی شده بود (De Mecquenem & Michalon, 1953: 28, 52-53, Fig. 20: 1-2, pl. B:1)، (شکل ۴).

رومن گیرشمن در ادامه‌ی کاوش‌های گروه فرانسوی، در سال‌های بعد از جنگ جهانی دوم، بین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۶۲ م. (۱۳۳۰ تا ۱۳۴۱ هـ.ش.)، با کاوش مجدد در زیگورات، قطعات زیادی از این لوله‌ها در میان بقایای درهای چوبی کشف گردید که در برخی از آن‌ها همچنان میله‌های مفرغی باقی بود، و برای نخستین‌بار وی کاربرد این لوله‌ها را به‌عنوان تزیین در معابد مطرح می‌کند (گیرشمن، ۱۳۷۳؛ ۱۳۷۵؛ Barag, 1985)؛ گیرشمن رنگ آن‌ها را به اشتباه سیاه‌وسفید تشخیص می‌دهد (گیرشمن، ۱۳۷۳: ۴۵)، (شکل ۵). از آنجاکه پس از وی، درباره‌ی این آثار پژوهش دیگری انجام نشده است، سایر پژوهشگران، ازجمله: آمیه، کارتر و مفیدی‌نصرآبادی نیز به‌نقل از وی، کاربرد آن‌ها را با جنبه‌ی تزیینی درنظر گرفته‌اند (Amiet, 1966: 338, 354; Carter, 1992: 10; Mofidi-Nasrabadi, 2004: 303).

▲ شکل ۴. نمونه‌های به‌دست‌آمده از بناهای موسوم به شمال غربی از کاوش‌های دومکنم و میشالون در سال ۱۹۳۹ م (۱۳۱۸ ش.)، (De Mecquenem & Michalon, 1953: fig. 20: 1-2, pl.B:1;www.mom.fr/mecquenem/photo/afficher/id).



◄شکل ۵. نمونه‌های به‌دست‌آمده از کاوش‌های گیرشمن بین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۶۲ م. (۱۳۳۰ تا ۱۳۴۱ ش.)، (گیرشمن، ۱۳۷۳؛ ۱۳۷۵).

گیرشمن، اتاق‌های سه جبهه‌ی طبقه‌ی اول زیگورات را انباری برای نگهداری تزیینات معماری دانسته است که تولیداتی ازجمله درهای چوبی مزین به لوله‌های شیشه‌ای در آن‌ها نگهداری می‌شده تا در تزیین بناهای جدید به‌کار رود (گیرشمن، ۱۳۷۳: ۳۲). کاربرد آن‌ها نیز با توجه به محل کشف‌شان در دروازه‌های ورودی زیگورات و نیایشگاه‌های داخل و خارج از محله‌ی مقدس، به‌عنوان تزیین قاب‌های چوبی درهای این بناها فرض شده است (همان، ۱۳۷۳: نقشه‌های پایان کتاب و ضمیمه).

در حین این کاوش‌ها از محل‌های متعددی این اشیاء به‌دست آمده است؛ ازجمله می‌توان به کف اتاق دروازه‌ی جنوب‌شرقی زیگورات اشاره کرد که مملو از

لوله‌های شیشه‌ای مات بوده است (همان، ۱۳۷۳: ۸۸-۸۶، ۹۷-۹۵). در غرب دیوار دروازه‌ی یا حصار جنوب‌غربی، از نیایشگاه‌های شماره‌ی ۲ و ۴ فقط قطعات خرد شده‌ی لوله‌های شیشه‌ای باقی‌مانده بود (همان، ۱۳۷۳: ۹۷، ۱۰۰-۹۹، لوح ۷۸، شماره‌ی ۴۵۵).

نیایشگاه‌های ایزدان گال و ایشنی‌کَرَب در محوطه‌ی شمال‌غربی، ازجمله مناطق خارج از زیگورات هستند که بر روی درهای ورودی آن‌ها این شیشه‌ها قرار می‌گرفتند. در اطراف سکویی در راهرویی در نیایشگاه ایشنی‌کَرَب نیز تعداد دیگری از این اشیاء به‌دست آمد (همان، ۱۳۷۳: ۱۱۵-۱۱۳، ۱۲۱-۱۱۹، لوح ۵۱، شماره‌ی ۴). محل پاشنه‌ی در ورودی نیایشگاه کی‌ری‌ریشَ غربی با چنین لوله‌های شیشه‌ای پُرشده بود. در انبار یا اتاق شماره‌ی ۳۸، در بناهای الحاقی به این نیایشگاه که با داشتن سه کوره به‌عنوان کارگاه ساخت آثاری از بدل‌چینی شناخته شده‌اند، شش سبد مملو از لوله‌های شیشه‌ای و دوازده حلقه‌ی مفرغی که جفت‌جفت روی زمین چیده شده بودند، گردآوری شد. به باور گیرشمن، این اتاق محلی برای نگهداری لنگه‌درها و کلون‌ها بوده است. وی به کشف تعداد زیادی از این لوله‌ها و یکی-دوجین لوله مسی که آن‌ها هم به‌همان ترتیب روی زمین قرار داشتند، اشاره می‌کند؛ پیش‌تر نیز دومکنم و میشالون در اتاق شماره‌ی ۳۸ در همین مکان، این آثار را یافته بودند (گیرشمن، ۱۳۷۳: ۱۳۰-۱۲۶، شکل ۵۷؛ De Mecquenem & Michalon, 1953: 28, 52-53, Fig. 20:1-2, pl. B:1).

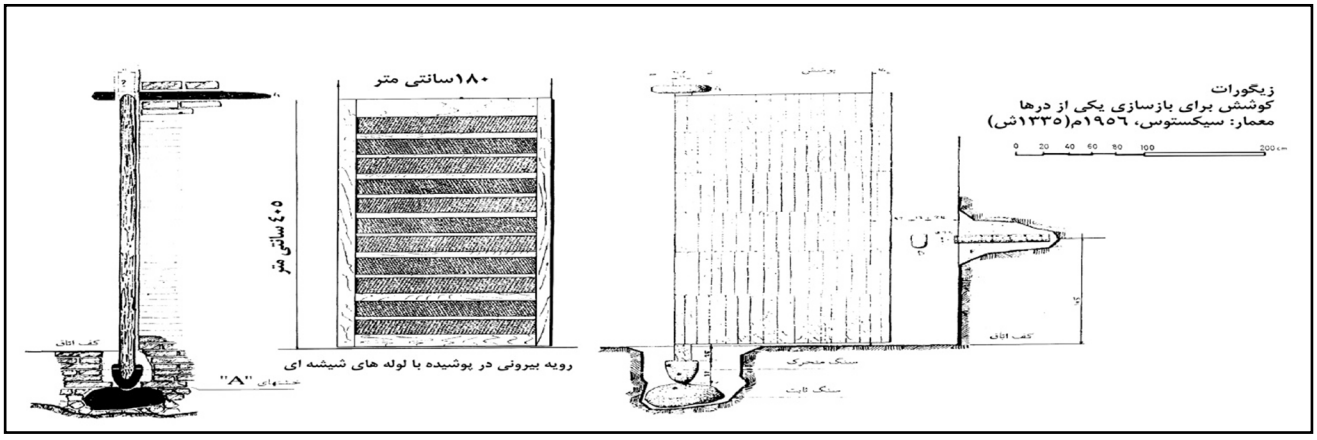
در دالان نیایشگاه کی‌ری‌ریشَ شرقی نیز نمونه‌های مشابهی بر روی زمین پیدا شد که در همان زمان توسط تانیا گیرشمن[۳] در قاب‌های چوبی قرار گرفت و به موزه‌های لوور و ایران باستان منتقل شد (Amiet, 1966: 338, 354-355, pl. 262؛ گیرشمن، ۱۳۷۳: ۱۳۵-۱۳۴، لوح ۵۲، تصاویر ۲ و ۳).

در بیشتر نیایشگاه‌های محله‌ی مقدس که شامل محوطه‌ی چهارگوش در مرکز شهر است، این‌گونه لوله‌های شیشه‌ای به‌دست آمده‌اند. در نیایشگاه ایزد بانوی پی‌نی‌کیر، این لوله‌ها در درهای چوبی دولنگه قرار داشته‌اند. درهای دو لنگه‌ای نیایشگاه اَدَد و شالا، دومین؛ و نیایشگاه شیموت و بلت-الی، سومین نیایشگاه این مجموعه نیز با چنین لوله‌هایی زینت یافته بودند (گیرشمن، ۱۳۷۵: ۲۶-۲۵، ۳۱-۳۰، ۳۳، لوح ۷۴، شماره‌ی ۹۶۹؛ پاتس، ۱۳۸۵: ۳۴۵-۳۴۴). نیایشگاه نَپَراتِپ، شامل چهار نیایشگاه کوچک است که از سایر نیایشگاه‌های یادشده، جداست. هر یک از این نیایشگاه‌های دارای دری به عرض ۲/۲۰ سانتی‌متر بوده‌اند که از دو لنگه تشکیل شده‌اند. کاوشگر در اینجا تأکید می‌کند که قطعات متعدد لوله‌های شیشه‌ای برای تزیین درهای نیایشگاه‌ها کشف شده است؛ وی، همچنین می‌گوید سبدهای متعددی در کاوش به‌دست آمد که با این آثار پُر شده بود (گیرشمن، ۱۳۷۵: ۳۶-۷). در حیاط الف و اتاق شماره‌ی ۶ در محله‌ی شاهی در کاخ-آرامگاه زیرزمینی نیز لوله‌های فوق به‌دست‌آمده که برای تزیین درهایی که روبه حیاط باز می‌شده و احتمالاً دارای دو لنگه بوده‌اند، به کار رفته بودند. اتاق شماره‌ی ۱۹ وابسته به‌همین حیاط نیز ازجمله اتاق‌های این مجموعه است که در آن لوله‌های

شیشه‌ای پیداشده‌اند (همان: ۶۸، ۷۷-۷۶، لوح ۸۶، شماره‌های ۷۶۶، ۸۳۳ و ۷۹۳)، (شکل ۶).

گیرشمن در اتاق شماره‌ی ۱۲ کاخ شماره‌ی ۳، یکی از این لوله‌ها که میله‌ی مفرغی در آن باقی‌مانده و دو سر آن به‌هم فشرده شده است را به تصویر کشیده است (گیرشمن، ۱۳۷۵: ۱۰۹-۱۰۵، ۲۰۸، لوح ۵۰، تصاویر شماره‌ی ۱ و ۳).

اما مهم‌ترین کشف در ارتباط با این لوله‌های شیشه‌ای در همان روزهای نخست کاوش فصل سوم چغازنبیل که از ۲۲ نوامبر سال ۱۹۵۳ م. (آبان سال ۱۳۳۲ ش.)، آغاز شده بود، بخش زیرین یک درِ چوبی یک‌لنگه‌ای از طبقه‌ی نخست جبهه‌ی جنوب‌شرقی زیگورات و در نیایشگاه اینشوشناک ب، کشف شد. در هنگام کاوش، هنوز قسمت زیرین این در، تخته‌بندی و تزیینات آن‌که همان لوله‌های شیشه‌ای بوده، به‌خوبی دیده می‌شده، اما چوب آن با اندک تماس تبدیل به گَرد می‌شده است؛ که بعد از حفاظت اولیه توسط تانیا گیرشمن آن‌را در صندوقی گذاشته و به موزه‌ی ایران باستان منتقل کردند. در سال ۱۹۵۶ م. (۱۳۳۵ هـ.ش.)، معماری به‌نام «سیکستوس»، بر پایه‌ی همین بقایای موجود، به بازسازی آن به‌شکل طرحی خطی پرداخت و این طرح را گیرشمن منتشر کرد. تانیا گیرشمن سیزده سال بعد در سال ۱۹۶۶ م. (۱۳۴۵ هـ.ش.)، در کتاب خاطرات خود که در سال ۱۹۷۰ م. (۱۳۵۰ هـ.ش.) در فرانسه به چاپ رسیده، چگونگی این کار را شرح داده است (گیرشمن، ۱۳۷۳: ۴۷-۴۴، لوح ۲۵، شماره‌ی ۱ و شکل‌های ۲۰-۱۹؛ گیرشمن، ۱۳۸۹: ۲۸۷، ۲۹۳-۲۹۰، تصاویر ص ۵۸۴)، (شکل ۶ و ۷).



▲ **شکل ۶. طرح بازسازی‌شده‌ی یکی از درها (گیرشمن، ۱۳۷۳: شکل ۲۰).**

هرچند تلاش‌های تانیا گیرشمن برای بازسازی این درها قابل‌انکار است، اما به‌نظر نمی‌رسد که موشکافی عمیقی در این بازسازی‌ها وجود داشته و تا حد زیادی سلیقه‌ای بوده است؛ حتی اگر به‌جای قابی شبیه پنجره‌ی دو لنگه‌ی عمودی، این لوله‌ها در ردیف‌های افقی قاب می‌شدند، تصویری ملموس‌تر از آنچه در موزه‌های لوور و ایران باستان وجود داشت، مشاهده می‌شد. این شیشه‌ها به‌صورت افقی و به‌وسیله‌ی قطعه‌ای چوب که از داخل لوله‌ی شیشه‌ای عبور می‌کرد، درون قاب‌های تعبیه شده بر روی در قرار می‌گرفته‌اند.

روش ساخت

لوله‌های توخالی درهای چوبیِ دو لنگه، برخی از نیایشگاه‌ها و زیگورات اَل-اونتَش-نَپیریشَ، از شیشه‌ی نیمه‌شفاف به رنگ‌های آبی تیره‌ی مایل به بنفش که نواری پهن از شیشه‌ی سفیدرنگ به دور هر یک مارپیچ شده بود، جای گرفته‌اند. سطح آن‌ها دچار هوازدگی و پدیده‌ی قوس و قزحی[۴] شده است و با ظاهری سیاه رنگ که نوار سفیدرنگ به دور آن‌ها پیچیده شده، به‌چشم می‌خورد. همین سیاهی سطح آن‌ها، احتمالاً باعث گمراهی گیرشمن و همچنین آمیه در تشخیص رنگ این آثار شده است.

این لوله‌ها با روش قالب-میله‌ای به کمک میله‌ای مفرغی که نقش قالب داشته است، تولید شده و در برخی از آن‌ها میله‌ی مفرغی باقی‌مانده است. در این روش برای ساخت این لوله‌ها، با میله‌ای فلزی مقداری مایع مذاب برداشته می‌شده و با غلتاندن بر سطحی صاف به شکل لوله‌ای درمی‌آمده است. پس از آن، فتیله‌ی نسبتاً ضخیمی از شیشه که در این مورد به رنگ سفید بوده روی لوله‌ی تازه ساخته شده و گرم پیچیده می‌شده و سپس آن‌را روی سطح صاف می‌غلتانده‌اند تا کاملاً آن رشته‌ی افزوده، پهن و جذب بدنه شود و به‌شکل نواری مارپیچی درآید. میانگین طول این لوله‌ها بین ۲۵ تا ۲۸ سانتی‌متر و قطر آن‌ها نزدیک به ۲ سانتی‌متر است و بنابه محل کار گذاشتن آن‌ها در اندازه‌های کوتاه‌تر ساخته و یا بریده شده‌اند (Amiet, 1966: 338; Barag, 1985: 38, 47; Ghirshman, 1963: 20-21).

برخی از قطعات باقی‌مانده چنین می‌نمایند که دو طرف لوله‌ها به‌هم برآمده و باریک شده‌اند تا شاید در سوراخ‌های تعبیه‌شده در قاب چوبی محکم شوند (شکل ۷). این لوله‌ها، نور روز را به‌قدر کافی از خود عبور می‌داده‌اند و به‌نظر می‌رسد که برای تلطیف نور شدید خورشید در این منطقه است که نوار سفیدرنگ را به دور لوله‌ها پیچیده‌اند.

سرنوشت لوله‌های شیشه‌ای و پراکنده شدن آن‌ها در جهان

تعدادی از این لوله‌های شیشه‌ای هم‌اکنون در سراسر جهان پراکنده و وارد موزه‌های شناخته شده‌ی جهان شده‌اند، ازجمله به بررسی آثار موجود در ۱۲ موزه می‌توان پرداخت که یا از کاوش‌ها مستقیماً به‌دست‌آمده‌اند و یا توسط برخی افراد اهدا و خریداری شده است که البته چگونگی راه‌یابی در برخی موزه‌ها نامشخص است؛ از آن‌جمله می‌توان به: موزه‌ی لوور، موزه‌ی ملی ایران، انبارهای قلعه‌ی فرانسویان در شوش، موزه‌ی آبگینه و سفالینه‌های ایران، موزه‌ی دفینه، موزه‌ی کُرنینگ، موزه‌ی پل‌گتی لس‌آنجلس، موزه‌ی بریتانیا، موزه‌ی سلطنتی انتاریو، موزه‌ی هارتز در فلسطین اشغالی، موزه‌ی آثار شرقی اوکایاما و موزه‌ی اشمولین، اشاره نمود که توضیحات بیشتر در جدول ۱ بیان‌شده است.

▲ شکل ۷. نمونه‌های قاب شده توسط تانیا گیرشمن، منتقل‌شده به موزه ایران باستان (عکس از بخش مرمت موزه ملی ایران).

پیشینه‌ی مطالعات آزمایشگاهی شیشه‌های باستانی به‌روش فلئورسانس پرتو مجهول

امروزه با گسترش دانش بشری و به‌کارگیری علوم مهندسی در باستان‌شناسی،

جدول ۱. لوله‌های شیشه‌ای پراکنده در جهان که نگارندگان موفق به شناسایی آن‌ها شده‌اند ▼.

ردیف	مکان نگهداری	تعداد قطعه‌ها	شماره‌ی اموال یا موزه	کاوش	اهدا یا خریداری		
۱	موزه لوور، پاریس	؟	؟	•			
۲	موزه ملی ایران، تهران	۱۰۵	۴۷۰۸	•			
۳	انبارهای قلعه فرانسویان در شوش	؟	؟	•			تعداد اهدایی
۴	موزه آبگینه و سفالینه‌های ایران، تهران	۱۳	؟		•	؟	؟
۵	موزه دفینه، تهران	۲۹	؟		•	؟	؟
۶	موزه شیشه کُرنینگ، نیویورک	۱۳	؟		•	ری وین فیلد اسمیت	۱
			۵۵/۱/۵۷		•	عباس مزدا	۱
			۶۶/۱/۲۴		•	ری وینفیلد اسمیت	۴
			۷۶/۱/۲۸		•	کارل برکوویتز و دِرِک کانتنت اهدا به مجموعه ری وینفیلد اسمیت	۷
۷	موزه پل گتی، لوس‌آنجلس	۴	۸۶/ AF/۵۲۲		•	؟	۴
۸	موزه بریتانیا، لندن	۵	۱۹۶۸ ,۰۴۲۵/۲-۱		•	هلن مورو-نُره	۲
			۲۰۰۰ ،۰۳۲۸/۱۷ و ۲۰۰۰ ،۰۳۲۸/۱۶		•	مری آنا مارتن	۲
			۲۰۱۳ ،۶۰۰۳/۱		•	سر راجر بنتام استیونس	۱
۹	موزه سلطنتی انتاریو، کانادا	۲	۹۶۱,۱۷۶,۸ الف-ب		•	؟	؟
۱۰	موزه هارتز، تل‌آویو	۲۳	؟		•	؟	؟
۱۱	موزه آثار شرقی اوکایاما، ژاپن	؟	؟		•	؟	؟
۱۲	موزه اشمولین، انگلیس	۱	۱۹۴۹ /۸۰۴		•	تئودور برتون بروان	۱

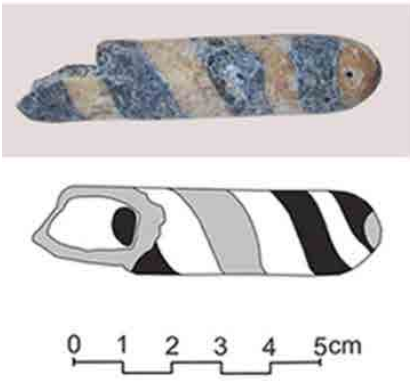
De Mecquenem & Michalon, 1953: 28, 52-53, fig. 20: 1-2, pl. B: 1; Mofidi-Nasrabadi: 2004; 303, 773, no. 477[5]; *Glass from the Ancient World,* 1957: 36-37, fig.47; Wight, 2011: 28, 32, fig.17; Barag, 1985: 38,47, pl.2, no.19; Spaer et al. 2001: 253؛ گیرشمن، ۱۳۸۹: ۳۴۳، ۳۹۶؛ گیرشمن، ۱۳۷۳: اشکال ۲۰-۱۹، الواح ۲۵، تصویر۱، ۵۱، تصویر ۴، ۵۲، تصاویر ۲ و ۳، ۷۸، شماره‌ی ۴۵۵؛ ۱۳۷۵: الواح ۵۰، تصاویر ۳-۱، ۷۴، شماره‌ی ۹۶۹، ۸۶، شماره‌های ۷۶۶، ۸۳۳ و قائینی، ۱۳۸۳: ۶۹؛ www.britishmuseum.org/research/collection_online.aspx

www.Royal Ontario Museum/ Go with the Flow: Technology & Early (Glass/Robert Mason); www.cmog.org/collection

www.britishmuseum.org/research/collection_online.aspx; Lessing Archive: 08-02-07/17

Catalogue: Ancient Glasses, 2001, illustrated on p. 21; www.britishmuseum.org /research / collection _online.aspx

رشته‌ای با عنوان «باستان‌سنجی» شکل‌گرفته است. این دانش در مطالعه‌ی شیشه‌های باستانی کمک‌های شایانی به پژوهشگران می‌کند؛ ازجمله‌ی این کمک‌ها، می‌توان به بررسی: عناصر سازنده، رنگ‌دانه‌های معدنی، آسیب‌شناختی و چگونگی ساخت شیشه در عهد باستان پرداخت. یکی از روش‌های آنالیز مواد باستانی، خصوصاً شیشه، روش «فلئورسانس پرتو مجهول» است که مانند تمامی دیگر روش‌های تجزیه‌ای مفید بوده است؛ کاربرد فلئورسانس پرتو مجهول، تکیه‌بر انبساط درونی ضعف پوسته (پوسته‌های K, M, L) دارد. تحولاتی که بر اتم‌ها سبب انتشار علائمی از اندک انرژی پرتو مجهول می‌شود، برای تحلیل شیشه‌هایی با قدمت بیش از ۵۰ سال مناسب است (Rijksuniversiteit, 1957: 154).



▲ شکل ۸. نمونه‌ی مطالعاتی در دانشگاه تربیت مدرس (تصویر و طرح از نگارندگان، ۱۳۹۶).

این روش بر روی مواد باستانی، به‌منظور شناخت ترکیبات شیمیایی و مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن انجام می‌گیرد؛ ازجمله‌ی این آزمایش توسط «ای. وی سایر» از بخش شیمی آزمایشگاه ملی بروک هاون لانگ آیلند در نیویورک[۶] و «ری وینفیلد اسمیت» از کمیته‌ی بین‌المللی شیشه‌های باستانی در دوبلین در نیوهمپشایر[۷] انجام و نتایج آن منتشرشده است (Sayre & Smith, 1961: 1824-6).

علاوه‌بر تجزیه‌وتحلیل مواد اولیه‌ی شیشه‌ها، در مورد رنگ‌دهنده‌ها و رنگ‌برنده‌ها (Handerson, 2013) و همچنین کمک به میزان اندازه‌گیری درجه‌ی پخت شیشه‌های باستانی نیز می‌توان از روش فلئورسانس پرتو مجهول استفاده نمود (Freestone, 2005; Shugr & Rehren, 2002).

اما مهم‌ترین کتاب چاپ‌شده در زمینه‌ی آنالیز شیشه‌های باستانی در جهان، مجموعه‌ی سه‌جلدی «رابرت بریل» است که به آزمایش شیشه‌های باستانی تا قرون‌وسطی در مجموعه‌های موجود در موزه‌ی شیشه‌ی کُرنینگ اختصاص یافته است. بریل، از نخستین پژوهشگرانی است که از دهه‌ی ۱۹۶۰ م. به تجزیه‌ی عناصر شیشه به‌روش فلئورسانس پرتو مجهول، فعال‌سازی نوترونی۸ و تجزیه‌ی ایزوتوپ‌های عناصر شیشه پرداخته است (Brill & Wampler, 1967).

بحث و بررسی نمونه

با توجه به اهمیت زیاد لوله‌های شیشه‌ای چغازنبیل به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین شیشه‌هایی که ساخت آن‌ها در ایران شناخته شده است، نمونه‌ای از این نوع شیشه‌ی باستانی جهت شناخت عناصر تشکیل‌دهنده‌ی آن، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. در این آزمایش به‌روش فلئورسانس پرتو مجهول (XRF) به تجزیه‌ی عناصر شیمیایی ترکیبات سازنده‌ی آن پرداخته‌شده است. آزمایش فوق با دستگاه Philips-PW2404 در آزمایشگاه دانشکده علوم دانشگاه تربیت‌مدرس و بر روی یک نمونه‌ی موجود در انبارهای قلعه‌ی شوش انجام‌گرفته است (شکل ۸) که قابل‌مقایسه با ۴ نمونه‌ی آزمایش‌شده توسط بریل در مجموعه‌ی موزه‌ی شیشه‌ی کُرنینگ است (جدول ۲).

بررسی منابع سیلیس

براساس این اندازه‌گیری‌ها، درصد وزنی اکسید سیلیسم تشکیل‌دهنده در نمونه‌های مناطق مختلف جهان که حدود ۶۵ تا ۷۰ درصد است (Henderson, 2013)؛ این عنصر در نمونه‌های چغازنبیل موزه‌ی کورنیگ بین ۶۳٫۳۸-۶۵٫۹۲ درصد بوده، در نمونه‌ی موردمطالعه نیز به‌میزان ۶۵٫۱۹ درصد است. برای شناخت بیشتر منابع سیلیسی باید دو عنصر آلومینیوم و آهن را به‌عنوان مواد ناخالص وارد شده در سیلیس، موردبررسی قرار داد؛ برخی از منابع سیلیسی تقریباً خالص (حدود ۲ تا ۳ درصد آلومینیوم) و تعدادی دیگر بسیار ناخالص (حدود ۵ تا ۶ درصد آلومینیوم) بوده‌اند (Lima et al., 2012: 1238). در شکل ۹، میزان اکسید آلومینیوم در نمونه‌های کرنینگ بین ۱٫۵۰-۱ درصد است؛ این درحالی‌ست که نمونه‌ی

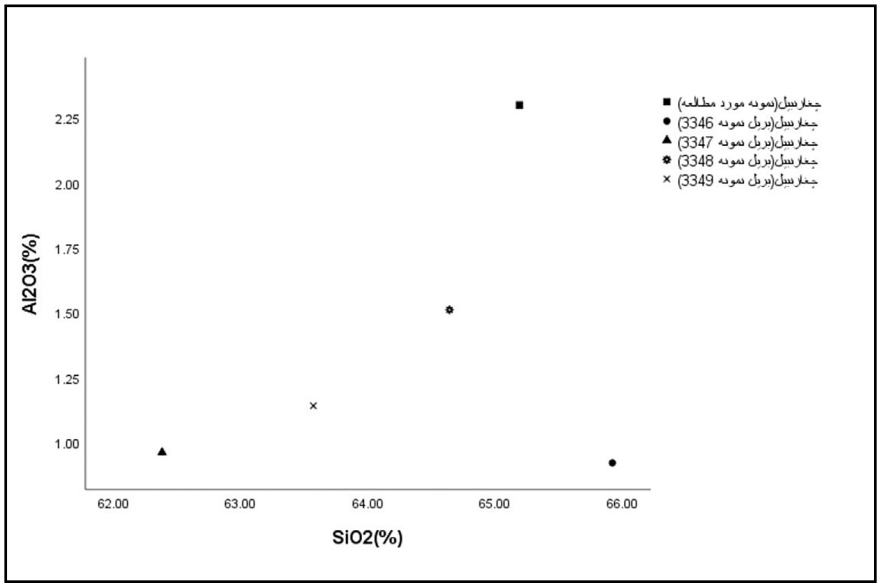
عنصرهای تشکیل‌دهنده		موزه شوش عیلام (چغازنبیل)	موزه شیشه کُرنینگ عیلام (چغازنبیل)			
			Sample Nos.			
(٪)		Sample No.934	3346	3347	3348	3349
SiO_2	اکسید سیلیسیم/شن	65.19	65.92	62.38	64.64	63.57
CaO	اکسید کلسیم/ آهک	11.077	10	16.4	10.92	14.98
Na_2O	اکسید سدیم/سودا	8.79	14.4	13	12.97	11.23
MgO	اکسید منیزیم	4.27	4.2	4.13	4.62	4.43
K_2O	اکسید پتاسیم	2.57	3.66	2.15	2.97	2.32
Al_2O_3	اکسید آلومینیم	2.30	0.92	0.96	1.51	1.14
Fe_2O_3	اکسید آهن	0.84	0.41	0.42	1.05	1.11
TiO_2	اکسید تیتانیم	آثار ناچیز	0.05	0.05	0.05	0.05
Sb_2O_5	اکسید آنتیموان	–	0.02	0.02	0.03	0.03
MnO	اکسید منگنز	آثار ناچیز	0.02	0.02	0.088	0.074
CuO	اکسید مس	0.02	0.02	0.03	0.088	0.02
Ag_2O	اکسید نقره	–	0.001	0.001	0.001	0.001
PbO	اکسید سرب	–	0.1	0.2	0.8	0.8
BaO	اکسید باریوم	–	0.008	0.008	0.008	0.008
SrO	استرانسیوم	0.04	0.02	0.08	0.03	0.03
Li_2O	اکسید لیتیوم	–	0.005	0.001	0.01	0.008
B_2O_3	اکسید بور	–	0.01	0.02	0.02	0.02
V_2O_5	اکسید وانادیوم	–	0.002	0.001	0.001	0.001
Cr_2O_3	اکسید کروم	آثار ناچیز	0.003	0.002	0.001	0.001
NiO	اکسید نیکل	آثار ناچیز	0.003	0.008	0.002	0.002
ZnO	اکسید روی	آثار ناچیز	0.01	0.021	0.0047	0.017
ZrO_2	اکسید زیرکنیم	–	0.01	–	–	–
P_2O_5	اکسید فسفر	۲۵.	0.2	0.1	0.19	0.17
Cl	کلرید	۸۵.	–	–	–	–
SO3	تری اکسید سولفور	۸۵.	–	–	–	–
Co	کبالت	آثار ناچیز	–	–	–	–
Br	بوروم	آثار ناچیز	–	–	–	–
Rb	روبیدیوم	آثار ناچیز	–	–	–	–
Y	ایتریوم	آثار ناچیز	–	–	–	–
Ta	تانتال	آثار ناچیز	–	–	–	–
W	تنگستن	آثار ناچیز	–	–	–	–
L.O.I	مقدار کاهش در اثر سوزاندن (مواد آلی در خاک)	3.04	؟	؟	؟	؟

◄جدول ۲. عناصر مشاهده‌شده در آنالیز XRF لوله‌های شیشه‌ای چغازنبیل موجود در انبار قلعه‌ی شوش (آزمایشگاه دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۵) و موزه شیشه کُرنینگ (Brill, 1999: Vol.2, p.46).

موردپژوهش ۲،۳۰ درصد است که نشان می‌دهد که منابع سیلیس شیشه‌ها به یکدیگر شبیه هستند (شکل ۹).

بررسی منابع قلیا

برای کم کردن دمای ذوب شیشه از قلیا استفاده می‌شود؛ قلیا در مواقع همان مواد گدازه‌آوری است که به‌شکل ترکیبات سدیم و پتاسیم در خاکستر گیاهان و ناترون (نمک معدنی) قرار دارد. تا قبل از ۸۰۰ ق.م. معمولاً از خاکستر گیاهان برای پایین آوردن درجه‌ی پخت شیشه استفاده می‌شد، این عناصر با سیلیس تعامل پیدا کرده و دمای ذوب آن‌را از ۱۷۱۰ تا ۱۷۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به دمای قابل‌کنترل‌تر ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برای شیشه‌های سودا-آهک می‌رساند (Henderson, 2013). این‌درحالی‌ست که اگر میزان درصد وزنی اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم موجود در نمونه‌های شیشه، کمتر از ۱/۵ درصد باشد، آن نمونه‌ها از نوع شیشه‌های



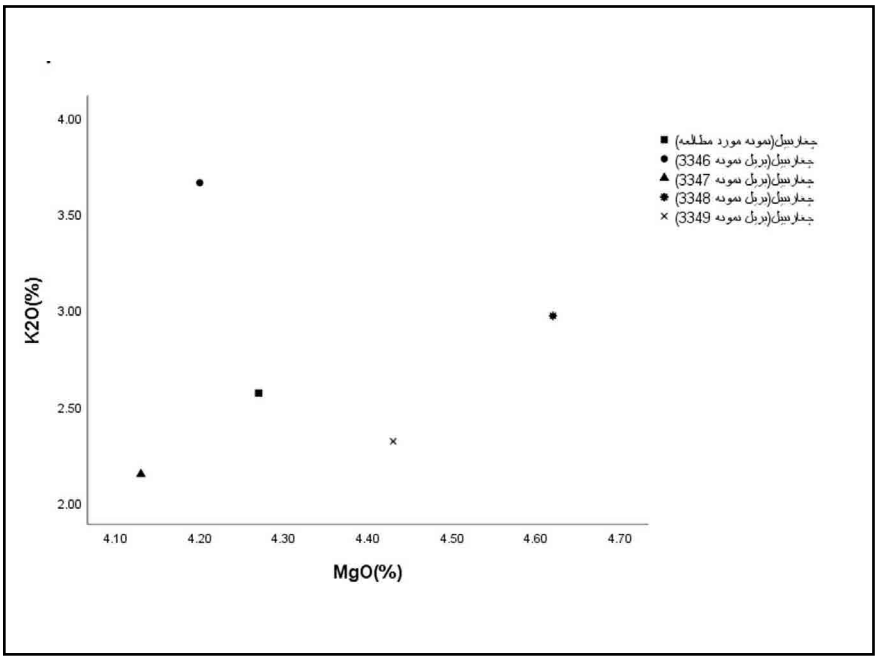
شکل ۹. تغییرات درصد وزنی اکسید سیلیس برحسب اکسید آلومینیوم نمونه‌ی چغازنبیل با نمونه‌های کُرنینگ (Brill, 1999: 46). ◄

ناترونی محسوب می‌شود؛ اما اگر میزان اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم موجود در نمونه‌ها بین ۱/۵ تا ۲/۵ درصد باشد، منبع تأمین سودا در این نوع شیشه‌ها، از نوع ترکیب ناترون و خاکستر خواهد بود. همچنین اگر میزان اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم موجود در نمونه‌های شیشه بیشتر از ۲/۵ درصد باشد، این شیشه‌ها از نوع شیشه‌هایی خواهد بود که منبع تأمین اکسید سدیم آن، خاکستر حاصل از گیاهان رشد یافته در خاک‌های شور بوده است؛ برای نمونه، می‌توان از گَوَن نام‌برد، این گیاه درخاک‌های خوزستان می‌روید و همواره مورد استفاده‌ی عشایر قرار می‌گیرد.

شیشه‌های که سودای آن‌ها از خاکستر گیاهی است، براساس میزان سدیم و پتاسیم آن‌ها به دو دسته‌ی سدیمی و پتاسیمی تقسیم می‌شوند (Shortland & Taite, 2000). مواد قلیایی در نمونه‌های چغازنبیل، همگی از نوع خاکستر گیاهی بوده است و به‌طورکلی گیاه و خاک محل رشد آن، ترکیبات یکسان و یا مشابهی را به شیشه وارد می‌کند؛ با بررسی، مشخص شد که به‌استثنای نمونه‌ی ۳۳۴۶، مقادیر نسبتاً برابری در میان نمونه‌ی موردمطالعه و نمونه‌های کُرنینگ وجود دارد که نشان می‌دهد که منابع سودای آن‌ها، می‌تواند یکی باشد و با توجه به‌میزان بالای منیزیم آن‌ها، از نوع گیاهان رویش‌یافته در خاک‌های شور است. خصوصیات حیاتی گیاهان هالووفیتیک (نمک دوست) به‌دلیل وجود مقادیر کافی کربنات سدیم، برای ساخت شیشه مناسب است (شکل ۱۰).

بررسی مواد استحکام‌بخش

به‌منظور کاهش تأثیر منفی سودا بر مقاومت کششی شیشه، به آن تثبیت‌کننده‌هایی مانند اکسید کلسیم و مقادیر اندکی منگنز و آلومینیوم اضافه می‌کردند؛ اما وقتی کلسیم کافی در ماده‌ی خام وجود داشت، دیگر لزومی بر اضافه نمودن آهک به‌صورت پیمانه به‌ترکیب شیشه نبود؛ چراکه موجب تخریب پوسته‌های شن می‌شد (Antonaras, 2012: 6).



◄شکل ۱۰. تغییرات درصد وزنی اکسید منیزیم برحسب اکسید پتاسیم نمونه‌ی چغازنبیل با نمونه‌های کُرنینگ (Brill, 1999: 46).

منابع کلسیم، گاهی اوقات صورت سنگ‌های کوارتز به‌ترکیب شیشه اضافه می‌شد و گاهی نیز همان‌طور که گفته شد، شن‌ها ذاتاً دارای مقادیری آهک بود؛ مثلاً شن‌های رودخانه‌ی بلوس، دارای آهک بودند و لزومی به‌اضافه نمودن آهک (۸،۷ درصد کربنات کلسیم) به آن‌ها نبود. البته در متون بابلیِ بین‌النهرین به «ایماناکو»[۹] اشاره دارد که همان قلوه‌سنگ‌های خرد کوارتزی در کف رودخانه‌ها است که در فرآیند تولید از آن‌ها استفاده می‌شده است (Davison, 2006: 136).

یکی دیگر از این منابع صدف و یا حلزونی دریایی است که به‌عنوان منبع کلسیم (با فسفر کم) در شیشه‌گری استفاده می‌شود و همچنین گاهی از خاکستر استخوان به‌عنوان منابع کلسیم استفاده می‌شد (Henderson et al., 2004: 459).

میزان اکسید کلسیم در لوله‌های شیشه‌ای بین ۱۰ الی ۱۶ درصد را نشان می‌دهد که از میانگین شیشه‌های دیگر بالاتر است، بنابراین شیشه‌گران عیلامی برای افزایش میزان مقاومت این شیشه‌ها تعمداً از کوارتز استفاده‌کرده‌اند؛ چراکه این شیشه‌ها معمولاً درجایی قرار می‌گرفتند که به‌دلیل باز و بسته شدن درها احتمال شکنندگی آن‌ها بالا می‌رفت، بنابراین آن‌ها در ترکیب‌های این شیشه‌ها از میزان بالاتری آهک برای افزایش میزان مقاومت این شیشه‌ها استفاده می‌کردند. منبع مورد استفاده در لوله‌های شیشه‌ای چغازنبیل احتمالاً کوارتز است؛ چراکه در صنایع دیگر، همچون بدل‌چینی از آن استفاده می‌کردند.

مواد رنگ‌زا

تهیه‌ی رنگ شیشه‌ها معمولاً برخلاف دیگر هنرها کار ساده‌ای نیست و احتمالاً در کارگاه‌های شیشه‌گری در دوره‌ی عیلام میانه، نخبگانی که با رنگ‌دانه‌ها و اکسید فلزات آشنا بودند، برای تهیه‌ی رنگ‌های مختلف شیشه‌ها گماشته می‌شدند.

لوله‌های شیشه‌ای چغازنبیل دارای رنگ آبی تیره‌ی مایل به بنفش تیره (بادمجانی) هستند و در اثر هوازدگی و قوس و قزح شدن سطح آن به سیاهی گراییده است. برای شناخت از دلیل به‌وجود آمدن رنگ آبی در این شیشه‌ها، می‌توان به سه عامل اشاره کرد: ۱- اگر آهن سه‌ظرفیتی در ترکیب باشد (Fe^{3+}) طیف رنگی از زرد و یا قهوه‌ای می‌دهد، گوگرد در خاکستر گیاهان ترکیبات غنی از سولفات‌ها را به‌وجود می‌آورد و هنگام ترکیب با سولفید آهن یک رنگ‌دهنده‌ی قوی محسوب می‌شود و رنگ زیتونی به شیشه می‌دهد و با کاهش شرایط رنگ این شیشه‌ها به رنگ آبی درمی‌آید (Brill & Schreurs, 1988: 270-75). ۲- درصد ناچیز اکسید کُبالت (لاجورد) در این نمونه که شاید اتفاقی بوده و پتانسیل منجر به خلق طیفی از رنگ آبی را دارد؛ چراکه اکسید کبالت رنگ‌ساز بسیار قوی است و چند جزء در میلیون آن برای تولید این سایه رنگ کافی است و فقط ۱۰-۱۰۰ppm از آن نیز می‌تواند رنگ آبی تیره تولید کند، همان‌طور در شیشه‌های آبی تیره‌ی مصری و میان‌رودانی از آغاز هزاره‌ی دوم قبل‌ازمیلاد به‌کاررفته است. علاوه‌بر این، کبالت می‌تواند باعث به‌وجود آمدن رنگ سیاه شود (Davison, 2006: 7). ۳- اکسید مس اگر به‌همراه اکسید سدیم و پتاسیم در شیشه باشد، معمولاً طیفی از رنگ آبی فیروزه‌ای را به‌وجود می‌آورد (Ibid: 77). با توجه به مطالب که بالا ذکر گردید، رنگ آبی تیره‌ی این شیشه‌ها به عوامل ۱ و ۳ مرتبط است، اما برای مطالعات دقیق‌تر می‌توان از طیف‌سنجی رامان[۱۰] استفاده کرد.

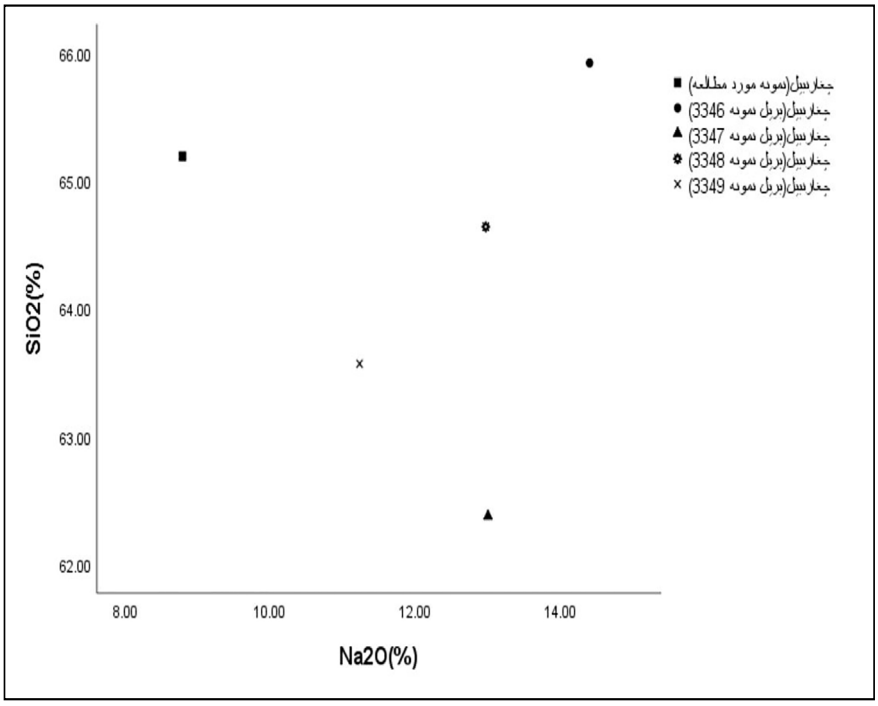
نظام پیمانه‌بندی

برای تشخیص میزان دستورالعمل‌های پیمانه‌ای به‌کاررفته در ترکیبات شیشه‌ها، معمولاً از میزان تفاوت وزنی دو عنصر اصلی ساخت شیشه، یعنی سدیم برحسب سلیس می‌توان استفاده نمود (Freestone et al., 2000).

همان‌طورکه در شکل ۱۱ مشخص گردید، میزان سیلیس بین ۶۲ تا ۶۶ درصد و میزان سدیم بین ۸ الی ۱۴ درصد بوده است؛ هرچند میان آن‌ها اختلاف جزئی دیده می‌شود، اما مقادیر، نشان‌دهنده‌ی این است که شیشه‌گران احتمالاً از یک نظام واحد پیمانه‌بندی برای ساخت شیشه‌ها استفاده می‌کردند.

نتیجه‌گیری

لوله‌های شیشه‌ای چغازنبیل که به‌عنوان قدیمی‌ترین شیشه‌ی جام در دنیا شناخته می‌شوند، از اهمیت فراوانی در تاریخ شیشه‌گری برخوردار است و به‌همین علت در موزه‌های مختلف دنیا این آثار وارد شده است. لوله‌های فوق که برای تزیین درهای معابد عیلام میانه (۱۲۸۰ ق.م.) مورداستفاده قرار می‌گرفت، کاملاً با فن مستقل از مراکز شیشه‌گری دنیای آن‌روز همچون مصر و بین‌النهرین ساخته‌شده است. وجود قالب‌های مفرغی درون برخی از شیشه‌ها در محوطه‌ی کاوش، نشان می‌دهد که این لوله‌ها احتمالاً در کارگاهی در حوالی چغازنبیل تولید شده‌اند؛ علاوه‌بر آن نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌ی موردمطالعه به روش فلئورسانس پرتو مجهول (XRF) و



◄ شکل ۱۱. تغییرات درصد وزنی اکسید سیلیسیم برحسب اکسید سدیم نمونه‌ی چغازنبیل با نمونه‌های کُرنینگ (Brill, 1999: 46).

مقایسه‌ی آن با چهار نمونه‌ی کُرنینگ که توسط بریل مورد آزمایش قرارگرفته بود، نشان می‌دهد که شیشه‌گران عیلامی کاملاً با هدف به ساخت این شیشه‌ها مبادرت می‌ورزیدند، میزان کلسیم بالا نشان از رویه‌ی آن‌ها برای افزایش مقاومت شیشه‌ها بود؛ چراکه این شیشه‌ها به‌دلیل آن‌که بر روی درهای معابد تعبیه می‌شد، باید مقاوم‌تر از شیشه‌های عادی باشند. پس از بررسی تغییرات وزنی اکسید منیزیم به نسبت پتاسیم مشخص شد که منبع تأمین سودای این شیشه‌ها خاکستر حاصل از گیاهان رشد یافته در خاک‌های شور بوده است.

افزایش یا کاهش مقدار اکسیدهای فلزی به‌عنوان عناصر رنگی می‌تواند باعث تغییر رنگ و سایه‌رنگ‌های متفاوت شده باشد، یکی از خواص اکسیدهای فلزی در ترکیب اولیه‌ی شیشه این است که با تغییر اندکی در میزان افزودن اکسیدهای فلزی طیف‌های رنگی گوناگونی پدید می‌آید، اما علت رنگ آبی لوله‌های شیشه‌ای چغازنبیل تحت‌تأثیر دو عامل بوده است؛ نخست، اکسید مس اگر با پتاسیم و سدیم همراه شود طیف رنگی آبی فیروزه‌ای را از خود بروز می‌دهد و دومین و مهم‌ترین علت به‌وجود آمدن این رنگ از ترکیب آهن سه‌ظرفیتی با گوگرد موجود در خاکستر گیاه است که طیفی از رنگ آبی را به‌وجود می‌آورد. میزان پیمانه‌بندی مواد اولیه در شیشه‌های چغازنبیل نشان از دستورالعمل یکسان و نظارت بر روی تولید این شیشه‌ها توسط استادکاران در معبد چغازنبیل در سده‌ی ۱۳ ق.م. دارد.

پی‌نوشت

۱. «شیشه‌ی جام» اصطلاحی است برای شیشه‌ی لوحی و مسطح که بر روی درها، پنجره‌ها و نورگیرها به‌کار می‌رود. گفته شده این نوع شیشه در آغاز سده‌ی نخست میلادی در روم باستان ابداع شده است، حال آن‌که در دور-اونتَش در

حدود ۱۳۰۰ سال پیش از آن، شیشه‌گران عیلامی برای درها از شیشه استفاده کرده‌اند. نمونه‌ای منسوب به روم و متعلق به ۱ تا ۷۰ م. در موزه‌ی بریتانیا نگهداری می‌شود که به‌دلیل ناخالصی اکسید مس یا آهن دارای رنگ آبی-سبز است و اندازه‌ی آن ۵۴ در ۳۱ سانتی‌متر با حدود ۳ تا ۴ میلی‌متر ضخامت است (www.britishmuseum.org/research/collection_online.aspx).

۲. در برگردان فارسی، گاه به‌جای واژه‌ی «انبار» از واژه‌ی «مغازه» استفاده شده است که یکی از معانی واژه‌ی فرانسه (Magasin) است که در متن فرانسه ذکر شده است و چون مغازه به معنای محلی برای خرید و فروش محسوب می‌شود؛ بنابراین درست نبوده و در این نوشتار نیز به‌جای مغازه، واژه‌ی انبار جایگزین شد.

۳. همسر رومن گیرشمن که او را در تمامی کاوش‌های وی همراهی کرده و وظایفی از جمله مرمت آثار مکشوف را به عهده گرفته است.

4. Iridescence.

۵. ده قطعه از مجموعه‌ی موزه‌ی ملی ایران در این کاتالوگ به تصویر کشیده شده‌اند و به اشتباه تاریخ ۱۳۴۰ تا ۱۳۰۰ ق.م. برای آن‌ها ذکر شده است و محل کشف آن‌ها نیز فقط نیایشگاه اینشوشینَک ب، معرفی شده است.

6. Department of Chemistry Brookhaven National Laboratory, Upton, Long Iland, New york.

7. International Committee on ancient Glass, Dublin, New Hampshire.

8. Neutron activation analysis (NAA).

9. immanakku.

10. Raman.

کتابنامه

- آمیه، پیر، ۱۳۸۹، شوش شش‌هزارساله. ترجمه‌ی علی موسوی، تهران: انتشارات فرزان.

- استو، م. ج، ۱۳۷۵، چغازنبیل (دور.اونتاش)، متون ایلامی و آکدی چغازنبیل. جلد ۳، ترجمه‌ی اصغر کریمی، تهران: سازمان میراث‌فرهنگی کشور.

- پاتس، دنیل. تی، ۱۳۸۵، باستان‌شناسی ایلام. ترجمه‌ی زهرا باستی، تهران: انتشارات سمت.

- پرادا، ادیت،۱۳۵۷، هنر ایران باستان. ترجمه‌ی یوسف مجیدزاده، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

- پرادا، ادیت، ۱۳۷۵، چغازنبیل دور-اونتاش، حکاکی‌ها.، جلد ۴، ترجمه‌ی اصغر کریمی، تهران: سازمان میراث‌فرهنگی.

- قائینی، فرزانه، ۱۳۸۳، موزه‌ی آبگینه و سفالینه‌های ایران. تهران: معاونت معرفی و آموزش، سازمان میراث‌فرهنگی کشور.

- گیرشمن، رومن، ۱۳۷۳، چغازنبیل (دور-اونتاش)، زیگورات. جلد ۱ ترجمه‌ی اصغر کریمی، تهران: سازمان میراث‌فرهنگی کشور، .

- گیرشمن، رومن، ۱۳۷۵، چغازنبیل (دور-اونتاش)، تمنوس (محله مقدس)، معابد، کاخ‌ها، قبور، جلد ۲، ترجمه‌ی اصغر کریمی، تهران: سازمان میراث‌فرهنگی.

- گیرشمن، تانیا، ۱۳۸۹، من هم باستان‌شناس شدم!، خاطرات تانیا گیرشمن ۱۳۱۱-۱۳۴۶ خورشیدی. ترجمه‌ی فیروزه دیلمقانی، تهران: انتشارات موسسه بنیاد فرهنگ کاشان.

-مجیدزاده، یوسف، ۱۳۷۰، تاریخ و تمدن ایلام. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

- Amiet, P., 1966, *Elam*, France: Archèe editeur

- Antonaras, A., 2012, *Fire And Sand: Ancient Glass In The Priceton University Art Museum*. United States of America, Yale University Press.

- Barag, D., 1985, *Catalogue of Western Asiatic Glass in the British Museum.* London: British Museum Publications Limited, vol.1.

- Brill, R. H. & Wampler, J. M, 1967, "Isotope Studies of Ancient Lead." *American Journal of Archaeology* 71 pp. 63–77.

- Brill, R. H. & Schreurs, J. W. H., 1988, "Colour-Chemistry of the Jalame Glass". *Excavations at Jalame: Site of a Glass Factory in Late Roman Palestine*, Edite by Weinberg. Columbia, University of Missouri Press: 269-283.

- Brill, R.H., 1999, "Chemical Analyses of Early Glasses", Volume 1-2, Catalogue of Samples, New York: Corning Museum of Glass.

- Carter, E., 1992, "ČOḠĀ ZANBĪL". *Encyclopædia Iranica*, Vol. VI, Fasc. 1, pp.9-13.

- Davison, S., 2006, *Conservation and Restoration of Glass*. Great Britain, Elsiver.

- De Mecquenem, R., 1931, "Excavations at Susa (Persia)", *Antiquity* 5 (19):330-343.

- De Mecquenem, R., & Michalon, J., 1953, *Rechearches a Tchogha Zambil, Memoires de la Mission Archeologique en Iran*, Tome. XXXIII, Paris: Presses universitaires de France.

- Freestone, I. C.; Yael, G. R. & Michael J. H., 2000, "Primary glass from Israel and the production of glass in late antiquity and the early Islamic period", *Publications de la Maison de l'Orient et de la Méditerranée* 33(1): 65-83.

- Freestone, I., 2005, "The Provenance of Ancient Glass through Compositional Analysis", in: *Material issues in art and archaeology* VII: Symposium held November 30-December 3,

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

- Ghirshman, R., 1966, *Tchoga Zanbil (Dur-Untash)*, Vol. I: La Ziggurat, Mémoires de la Délégation Archéologique en Iran, vol. 39, Paris: Geuthner.

- *Glass from the Ancient World*, The Ray Winfield Smith collection, A Spesial exhibition 1957, New York: The Corning Museum of glass.

- Henderson, J.; McLoughlin, SD. & McPhail, DS., 2004, "Radical changes in Islamic glass technology: evidence for conservatism and experimentation with new glass recipes from early and middle Islamic Raqqa, Syria", *Archaeometry* 46(3): 439-468.

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

- Lima, A.; Teresa, M.; António, P. M. & Marco, V., 2012, "Chemical analysis of 17th century Millefiori glasses excavated in the Monastery of Sta. Clara-a-Velha, Portugal: comparison with Venetian and façon-de-Venise production". *Journal of Archaeological Science* 39(5):1238-1248.

- Mofidi-Nasrabadi, B., 2004, "Elam: Archaeology and History", *Persian Antike Pracht,* Deutsches Bergbau-Museum, Bochum, pp. 294-309.

- Porada, E., 1970, "Tchoga zanbil(Dur-Untash)", vol: IV, *La Glyptique, Memoires de la Delegation Archeologique en Iran* 42, Paris: Geuthner.

- Rijksuniversiteit, F. A., 1957, *Instituut voor Aardwetenschappen*,

Universiteit, Faculteit, Aardwetenschappen,

- Roach, K. J., 2009, *The Elamite Cylinder Seal Corpus, c. 3500-1000 B.C.* Published by University of Sydney.

- Sayre, E. V, & Smith, R. W., 1961, "Compositional Categories of Ancient Glass", *Journal of Science,* Vol.133, pp: 1824-1826.

- Shortland A. J. & Taite, M., 2000, "Raw materials of glass from Amarna and implications for the origins of Egyptian glass", *Archaeometry* 42:141-151.

- Shuger, A, & Rehren, T., 2002, "Formation & Composition of Glasses As a Function Firing Temperature", *Journal of Glass Technology,* vol. 43, 145-150.

- Spaer, M.; Barag, D.; Ornan, T., & Neuhaus, T., 2001, *Ancient glass in the Israel Museum: Beads and other small objects*, Jerusalem: Israel Museum.

- Steve, M. J, 1967, "Tchoga zanbil(Dur-Untash), vol.III, *Texes elamites et accadians de Tchoga zanbil", Memoires de la Delegation Archeologique en Iran 41*, Paris: Geuthner

- Tait, H., 1991, *Five thousand years of glass*, London: The Trustees of the British Museum.

- Wight, K.B., 2011, *Molten Color, Glassmaking in Antiquity*, Los Angeles: Paul Getty Publications.

- 2001, Catalogue: Ancient Glasses, Challenge by Glass Artists, Okayama.

- www.britishmuseum.org/research/collection_online.aspx

- www.cmog.org/collection

- www.Corning Museum of Glass

- www.mom.fr/mecquenem/photo/afficher/id

- www.Royal Ontario Museum/ Go with the Flow: Technology & Early Glass/Robert Mason

- Wikipedia, the free encyclopedia