

## تحلیل مقدماتی از ردپای بومی بودن صنعت سفال‌های نخودی شهر سوخته با استفاده از روش آنالیز نیمه کمی عنصری XRF

حسین سرحدی دادیان<sup>۱\*</sup>، وحید پور زرقان<sup>۱</sup>، حسین مرادی<sup>۲</sup>، مهدی رازانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> حسین سرحدی دادیان عضو هیئت علمی باستان‌شناسی - مرکز تحقیقات باستان‌شناسی دانشگاه زابل، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دانشگاه تهران، ایران

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان، ایران

### چکیده

شهر سوخته محوطه‌ای آغاز تاریخی است که در جنوب شرق ایران در استان سیستان و بلوچستان واقع شده است و تاریخ آغاز استقرار در آن به ۳۲۰۰ ق.م بازمی‌گردد. نتایج حاصل از کاوش‌های مختلف نشان‌دهنده چهار دوره فرهنگی - استقراری (I-IV) در این شهر است که به یازده فاز تقسیم شده است. دوره II در شهر سوخته به ۲۸۰۰ تا ۲۵۰۰ ق.م برمی‌گردد. دوره III با تاریخی برابر با ۲۵۰۰ تا ۲۳۰۰ ق.م و دوره IV نیز تاریخی بین ۱۸۰۰ تا ۱۷۵۰ ق.م پیشنهاد شده است. این محوطه باستانی در ۵۷ کیلومتری جاده زابل زاهدان واقع شده است که در سال ۱۳۹۳ هفدهمین اثر ثبتی ایران در فهرست میراث جهانی یونسکو انتخاب گردید. کاوش‌های باستان‌شناختی انجام گرفته در این تپه هزاران قطعه سفال را از دل خاک بیرون کشیده است که غالباً با خمیرهای به رنگ نخودی هستند. همچنین سفال با خمیره خاکستری و قرمز نیز در میان بقایای سفالی این محوطه ۱۵۰ هکتاری دیده می‌شود. باستان‌شناسان بر این باورند که بیشتر سفال‌های به‌دست‌آمده در خود شهر سوخته در محوطه‌های اقماری اطراف ساخته شده‌اند که برای سنجش این فرضیه، پژوهش حاضر بر اساس تجزیه‌های عنصری نمونه سفال‌های شهر سوخته انجام گرفته است. در همین راستا ۱۵ قطعه سفال که همگی این سفال‌ها مربوط به دوره II-III استقرار و مربوط به بازه زمانی ۲۸۰۰ تا ۲۲۰۰ ق.م است انتخاب شده است. قطعات سفال فوق با روش آنالیز دستگاهی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) مورد آزمایش قرار گرفت تا میزان عناصر اصلی و فرعی قطعات شناخته شوند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد اغلب سفال‌ها در یک دسته مشخص با نام گروه تولید محلی قرار می‌گیرند. بر همین اساس تعداد ۴ قطعه سفال تولید محلی نبوده و در گروه دیگری قرار گرفتند. با توجه به داده‌های تحقیق مشخص شد که سفال‌های قرمز و خاکستری مربوط به شهر سوخته نبوده و احتمالاً این سفال‌ها وارداتی‌اند.

**واژگان کلیدی:** شهر سوخته، سفال نخودی، XRF، تولید محلی، وارداتی

\* نویسنده مسئول: سیستان و بلوچستان زابل کیلومتر دو جاده بنجار پردیس جدید دانشگاه زابل.

کد پستی ۳۵۸۵۶-۹۸۶۱۳ صندوق پستی ۵۳۸-۹۸۶۱۵

پست الکترونیک: Hossein.Sarhaddi@gmail.com

## ۱- مقدمه

تپه شهر سوخته در حوزه جنوب شرق ایران، استان سیستان و بلوچستان، قرار گرفته است. این تپه در فاصله ۵۷ کیلومتری جنوب شهر زابل واقع شده و در سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۷۸ به وسیله باستان‌شناسان ایتالیایی از مؤسسه ایزمتو مورد کاوش قرار گرفته است (Tosi, 1983). سپس از سال ۱۳۷۶ هجری شمسی تا سال ۱۳۸۸ گروه باستان‌شناسان ایرانی به سرپرستی دکتر سید منصور سید سجادی به کاوش در بخش‌های مختلف این تپه کلیدی در جنوب شرق ایران مشغول بودند (Sajjadi, 2003).

نتایج کاوش‌های مختلف نشان‌دهنده چهار دوره فرهنگی - استقراری (I-IV) در این شهر است که به یازده (از صفر تا ۱۰) فاز تقسیم شده است (Tosi, 1973: 64-80). زمان آغاز استقرار در شهر سوخته یا همان فاز ۱۰ (دوره نخست) تاریخی برابر با ۳۲۰۰ ق.م دارد. سفال‌های نخودی با نقوش سه و چهارگوش، پلکانی و پایبونی شکل به صورت توپر از ویژگی‌های نقوش سفال این دوره است که همانندی‌های زیادی را با سفال جنوب ترکمنستان (نمازگاه III) نشان می‌دهد (Sarianidi, 1983: 183-200; Biscione, 1973: 134). دوره دوم استقرار در شهر سوخته سال‌های ۲۸۰۰ تا ۲۵۰۰ ق.م را در برمی‌گیرد. دوره III با تاریخی برابر با ۲۵۰۰ تا ۲۳۰۰ ق.م بایستی ادامه تحولات به وجود آمده در دوره II باشد که تا میانه این دوران شاهد آن هستیم اما در ربع پایانی این دوره شهر رو به افول می‌رود و تغییرات چندی در ساختار شهر شکل می‌گیرد که نهایتاً منجر به فروپاشی شهر در پایان دوره IV (فاز صفر) می‌شود. آخرین بررسی‌های منتشرشده در این زمینه تاریخی بین ۱۸۰۰ تا ۱۷۵۰ ق.م را پیشنهاد کرده است (Salvatori & Tosi, 2005). یکی از علل اصلی این تفاوت‌ها آن است که تنها یک محل (ساختمان موسوم به کاخ سوخته) منسوب به این دوره حفاری شده است و بقایای زغالی تنها کارگاه دیگری که برخی از آثار دوره چهارم و نه فاز صفر از آن به دست آمده است که تاکنون برای تاریخ‌گذاری آزمایش نشده‌اند (Sajjadi & Moradi, 2014: 78). تغییر بستر دریاچه هامون در این دوران به

علت تغییرات احتمالی اقلیمی مهم‌ترین عامل طبیعی و زیستی در این رخداد است. با توجه به حجم زیاد سفال‌های نخودی در این محوطه نسبت به سفال‌های دیگر سؤال‌های مطرح‌شده برای انجام این پروژه عبارت‌اند از:

- ۱- سفال‌های نخودی دارای چه تفاوت‌هایی از نظر عناصر تشکیل‌دهنده با سفال‌های خمیره قرمز و خاکستری (نمونه‌های شماره ۹، ۱۰، ۱۳ و ۱۵) هستند؟
- ۲- بر اساس نتایج آزمایش‌ها، تجزیه و تحلیل عناصر تشکیل‌دهنده، آیا سفال‌های نخودی بومی هستند یا از نقاط دیگر به شهر سوخته وارد شده‌اند؟

## ۲- روش تحقیق

تحقیق پیشرو پس از جمع‌آوری اطلاعات و نمونه‌برداری موجود از سطح ترانسه NFN در قالب ۱۵ نمونه سفال که شامل ۲ قطعه سفال قرمز، ۲ قطعه سفال خاکستری و بقیه قطعات نخودی انتخاب شد. این قطعات به سرپرستی سیدمنصور سیدسجادی از بخش مسکونی در طی سیزدهمین فصل کاوش‌های شهر سوخته به دست آمد. در ابتدا به بررسی ظاهری این سفال‌ها که شامل نوع پرکننده، خمیره و نوع ساخت می‌باشد پرداخته شده است (جدول ۱). در مرحله بعد به بررسی آنالیز دستگامی نمونه‌ها با استفاده از آنالیز عنصری XRF مدل PW1480 فیلیپس توسط شرکت کانساران بینالود مشهد انجام شد. نتایج و داده‌ها با استفاده از روش تجزیه سلسله مراتبی خوشه‌ای یا «Hierarchical Cluster Analysis» (HCA) با متد وارد مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با توجه به نتایج حاصله از داده‌ها به بومی بودن سفال‌های نخودی پرداخته شده که در بحث به آن اشاره شده است.

## ۳- پیشینه تحقیق

سفال شهر سوخته در محوطه‌ها، شهرک‌ها و روستاهای اطراف آن چون تپه دشت در ۳ کیلومتر جنوب غرب شهر (Tosi, 1984: 34) و در تپه‌های رود بیابان در ۲۵ کیلومتری جنوب شهر نمونه بارز شهرک‌های سفال‌گری در هزاره سوم ق.م، ساخته می‌شده است



مختلف از جمله نوع پرکننده‌ها، نوع ساخت و نقوش انجام گرفته است (Tosi, 1984:295) اما تاکنون مطالعات شیمیایی بر روی سفال‌های شهر سوخته انجام نگرفته است. برای این هدف در مجموع تعداد ۱۵ قطعه سفال از سطح ترانشه XFN از بخش مسکونی شرقی که از دوره I یعنی از سال‌های نخستین پیدایش استقرار در شهر سوخته تا دوره چهارم مورد سکونت واقع شده است، با روش سیستماتیک جمع‌آوری گردید (تصویر ۲).

آنچه که به‌عنوان سفال با خمیره نخودی شهر سوخته شناخته می‌شود در حقیقت در سه طیف مختلف وجود دارد: ۱- نخودی مایل به قرمز یا همان آجری ۲- نخودی خالص و ۳- نخودی مایل به سبز که بسیار محدودتر از دو نمونه نخست می‌باشد. از آنجایی که خمیره غالب سفال‌های شهر سوخته خمیره نخودی مایل به آجری و نخودی است بنابراین تلاش شد تا بیشتر نمونه‌های گردآوری شده از این دست باشند تا ما را در رسیدن به نتایج مورد نظر بهتر یاری کنند. دو نمونه سفال قرمز و دو قطعه سفال خاکستری نیز برداشت گردید تا جامعه آماری همه طیف‌های سفالی موجود در شهر سوخته را در برگیرد. مشخصات شیمیایی و عنصری سفال‌های گردآوری شده و مشخصات ظاهری آن‌ها در

(تصویر ۱) (Biscione, 1990: 394). که در دوره II و III به کارگاه‌های صنعتی تخصصی تولید سفال و با چرخ سفالگری تولید شده بودند (Tosi, 1984: 42)؛ سفال رایج در شهر سوخته است که در طیف گسترده‌ای از نخودی تا آجری و حتی مایل به سبز عرضه شده است. سفال خاکستری و سفال قرمز هم در رتبه‌های بعدی قرار دارند و تعداد آن‌ها بسیار کم و نادر است (Tosi, 1983:132). تعداد ۵۸ شکل شاخص و در مجموع ۱۸۶ فرم بر اساس جدول شپارد در شهر سوخته شناسایی شده است (Tosi, 1983: 136-9)؛ Salvatori and Vidale, 1997: 42. fig 68) پراکندگی سفال بر روی سطح شهر سوخته، برجسته‌ترین ویژگی ظاهری تپه بوده است و پراکندگی سفال در قسمت بنای یادمانی برابر با ۲۱۰ قطعه سفال در هر مترمربع است (سیدسجادی و مرادی، ۱۳۸۶: ۲۳۰). چندین قطعه سفال نیز از مناطق مختلف سیستان برای پاسخ به سؤالاتی مبتنی بر بومی یا تجاری بودن این سفال‌ها پیش‌تر با استفاده از آنالیز XRD و XRF مورد آزمایش قرار گرفته است و نتایج بومی بودن این قطعه سفال‌ها را تأیید می‌کنند (Sarhadi dadyan et al., 2015:4).

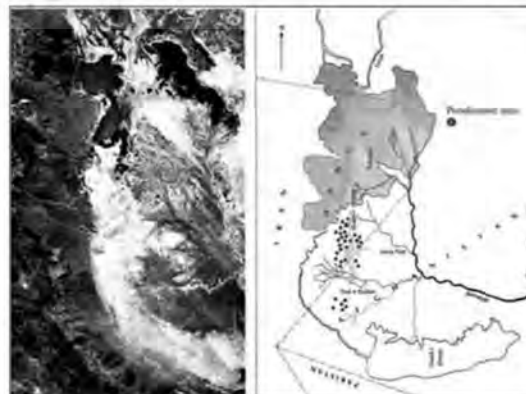
#### ۴- مواد و روش تحقیق

##### ۴-۱- معرفی نمونه‌ها

پژوهش‌های زیادی روی سفال‌های شهر سوخته در ابعاد



شکل ۲: تصویر سفال‌های گردآوری شده از سطح شهر سوخته برای آزمایش XRF



تصویر ۱: (ب) عکس ماهواره‌ای از شهر سوخته الف) همراه تپه‌های اقماری اطراف آن (Keykhaei et al., 2012: 205)

جدول ۱: مشاهدات ظاهری سفال‌های گردآوری‌شده از شهر سوخته

شماره	فرم	رنگ خمیره	رنگ بدنه	شاموت	رنگ نقش	ساخت	نوع خمیره	دوره
۱-۱۸۲۶۴	خمیره	نخودی	نخودی	ماسه بادی	_____	چرخ‌ساز	استاندارد	II-III
۲-۱۸۲۶۱	خمیره	نخودی	نخودی	ماسه بادی	قهوه ای تیره	چرخ‌ساز	استاندارد	II-III
۳-۱۸۲۶۷	خمیره	نخودی	نخودی	شن ریز	_____	چرخ‌ساز	خشن	II-III
۴-۱۸۲۷۳	خمیره	نخودی	نخودی	ماسه بادی	قهوه‌ای	چرخ‌ساز	استاندارد	II-III
۵-۱۸۲۶۲	خمیره	آجری	آجری	شن ریز	_____	چرخ‌ساز	خشن	II-III
۶-۱۸۲۶۳	خمیره	نخودی	نخودی	شن ریز	_____	چرخ‌ساز	استاندارد	II-III
۷-۱۸۲۶۹	کاسه	نخودی	نخودی	ماسه بادی، شن ریز	قهوه‌ای	چرخ‌ساز	استاندارد	II-III
۸-۱۸۲۶۸	کاسه	نخودی	نخودی	ماسه بادی	قهوه‌ای	چرخ‌ساز	استاندارد	II-III
۹-۱۸۲۵۹	کاسه	خاکستری	خاکستری	ماسه بادی	_____	چرخ‌ساز	ظریف	II-III
۱۰-۱۸۲۶۵	کاسه	خاکستری	خاکستری	ماسه بادی	سیاه	چرخ‌ساز	ظریف	II-III
۱۱-۱۸۲۷۰	کاسه	نخودی	نخودی	ماسه بادی	قهوه‌ای روشن	چرخ‌ساز	استاندارد	II-III
۱۲-۱۸۲۶۰	لیوان	نخودی	نخودی	شن ریز	قهوه‌ای تیره	چرخ‌ساز	ظریف	II-III
۱۳-۱۸۲۶۶	کاسه	قرمز	قرمز	ماسه بادی	_____	چرخ‌ساز	ظریف	II-III
۱۴-۱۸۲۷۲	لیوان	نخودی	نخودی	ماسه بادی، شن ریز	_____	چرخ‌ساز	استاندارد	II-III
۱۵-۱۸۲۷۱	خمیره	قرمز	قرمز	ماسه بادی	_____	چرخ‌ساز	استاندارد	II-III

در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و این کار تا زمانی که با پودر روانساز یا شار (Flux) از نوع اسپکتوروفلوکس ۱۱۰ (تولید جانسون و ماتی) همگن شدند، ادامه داشت. سپس این مخلوط به مدت یک ساعت در کوره با دمای  $1100^{\circ}C$  قرار گرفت. ماده مذاب همگن شده در یک ظرف قالب‌دهی شد و به تدریج به صورت قطعات عدسی شکل مذاب با ضخامت ۲ mm و قطر ۳۲ mm سرد گردید. نمونه‌ها با نسبت ۱:۱۰ رقیق شدند. نمونه پالت‌های فشرده‌شده با مخلوط کردن ۰/۱ گرم از نمونه‌ها با ۶ گرم پودر اسیدبوریک آماده شد و سپس با فشار ۲۰psi با استفاده از تجهیزات هیدرولیک آماده شدند. نمونه پالت‌های گداخته و پالت‌های تحت فشار با دستگاه فلیپس PW1480 ساخت کشور هلند برای تجزیه و تحلیل عناصر اصلی و کمیاب در شرکت کانساران بینالود مشهد مورد آزمایش قرار گرفت.

#### ۵- نتایج و بحث

مشخصات کلی عناصر ترکیبی سفال‌های آزمایش‌شده در جدول شماره ۲ و ۳ در ادامه آورده شده است. نمودار پراکنندگی اکسید آلومینیوم  $Al_2O_3$  در مقابل اکسید کلسیم CaO، اکسید منیزیم MgO در مقابل

جدول ۱ آمده است. همگی سفال‌های برداشت‌شده را می‌توان به دوره II-III یعنی به بازه زمانی ۲۸۰۰ تا ۲۲۰۰ ق.م نسبت داد.

#### ۴-۲- مواد و روش تحقیق

تجزیه شیمیایی یکی از روش‌های مطمئن به‌منظور شناخت عناصر و میزان آن‌ها در مواد باستان‌شناختی همانند سفال، شیشه، اشیاء فلزی و غیره است (Bieber *et al.*, 1976؛ Broekmans *et al.*, 2008؛ Marghussian *et al.*, 2009؛ Wong *et al.*, 2010؛ Ramli *et al.*, 2011a, b, 2012؛ Zuliskandar *et al.*, 2011). طیف‌سنجی فلورسانس اشعه‌ی ایکس (XRF) روشی نیمه کمی است که به طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری ترکیب عنصری مواد به‌کار می‌رود (Milazzo, 2004؛ Ferretti, 2000). در مطالعات متعددی برای بررسی سفال‌ها، از روش XRF استفاده شده است (Barone *et al.*, 2003؛ Ferretti, 2000؛ Leung and Lao, 2004؛ Klein *et al.*, 2000؛ Pillay *et al.*, 2000). برای تجزیه و تعیین ترکیب شیمیایی هر یک از نمونه‌ها سفال‌های مورد نظر هر نمونه با وزن ۴ گرم جدا کرده و به مدت یک ساعت



آن‌ها با خمیره سفال بود. برای این مهم با استفاده از تجزیه سلسله مراتبی خوشه‌ای یا Hierarchical Cluster Analysis (HCA) از چهار عنصر آلومینیوم یا آلومینا  $Al_2O_3$ ، اکسید کلسیم CaO، استرانسیوم و روییدیم انجام گرفت (Sarhadi-Dadian, 2015: 50). تا تمام آن‌ها به منظور ایجاد گروه‌های ترکیبی خاص به‌وسیله عناصر مهم از یکدیگر متمایز شوند.

اکسید تیتانیوم  $TiO_2$  و استرانسیوم Sr در مقابل روییدیم Rb به‌منظور نشان دادن تفاوت میان گروه‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل آماده شد و با هدف مشخص کردن توزیع و پراکندگی نمونه‌های عنصری در گروه‌های مختلف، برای تجزیه و تحلیل و مقایسه با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفت. هدف اصلی، قرار دادن نمونه‌ها در گروه‌های در نظر گرفته شده و نهایتاً مقایسه

جدول ۲: عناصر اصلی تشکیل‌دهنده سفال‌های گردآوری شده از شهر سوخته (Dry weight %)

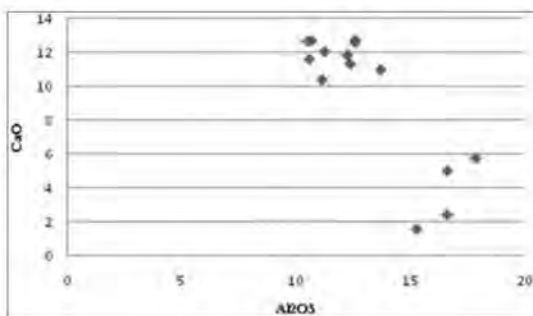
Sample	Si	Ti	Fe	Al	Mn	Ca	Mg	Na	K	$P_2O_5$	$SO_3$
18259-9	55.55	0.81	8.71	17.84	0.10	5.79	4.43	1.43	3.44	0.21	0.42
18260-12	50.88	0.53	5.57	12.57	0.10	12.62	6.84	3.04	1.80	0.12	0.50
18261-2	51.78	0.60	6.01	13.69	0.11	10.99	5.46	2.34	2.33	0.13	1.72
18262-5	51.27	0.44	4.71	11.13	0.09	10.40	5.87	4.33	2.65	1.39	1.05
18263-6	49.30	0.49	4.97	11.25	0.09	12.07	5.46	3.86	2.47	0.23	0.85
18264-1	49.69	0.47	4.81	10.63	0.09	12.71	7.67	2.77	2.37	0.17	2.80
18265-10	60.39	0.82	8.84	16.58	0.09	2.40	4.66	1.42	3.21	0.13	0.15
18266-13	53.14	0.73	7.22	16.60	0.08	5.00	3.74	1.82	3.42	0.15	0.34
18267-3	52.89	0.54	5.56	12.59	0.12	12.75	7.03	2.75	1.96	0.16	0.73
18268-8	52.86	0.52	5.35	12.36	0.10	11.34	5.46	2.21	2.63	0.14	2.00
18269-7	52.30	0.46	5.05	10.58	0.09	11.62	9.87	2.77	2.14	0.11	1.33
18270-11	51.34	0.58	6.10	13.29	0.11	12.36	6.00	2.25	2.74	0.30	0.73
18271-15	62.64	0.75	6.79	15.26	0.06	1.55	3.33	2.61	2.71	0.60	0.17
18272-14	47.36	0.51	4.78	10.51	0.08	12.69	5.09	3.23	3.09	0.18	2.98
18273-4	49.57	0.56	5.64	12.24	0.10	11.85	6.07	2.98	2.43	0.27	0.72

جدول ۳: عناصر کمیاب موجود در سفال‌های گردآوری شده شهر سوخته (Trace Elements (µg/g)

Sample	Ba	Co	Cr	Cu	Nb	U	Th	Ni	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zr	Zn	Cl
18259-9	348	53	169	75	21	15	15	127	54	206	600	285	38	282	192	5414
18260-12	399	25	171	86	9	17	8	144	42	85	1019	131	26	241	130	10815
18261-2	438	43	155	86	18	6	18	132	79	114	677	157	28	229	131	9076
18262-5	352	29	166	42	11	6	12	93	59	113	1161	106	25	205	131	26999
18263-6	342	28	164	67	8	115	6	139	45	103	595	131	27	220	110	20208
18264-1	359	31	152	43	3	12	10	118	44	94	967	108	22	202	106	10076
18265-10	213	59	232	84	12	5	15	226	561	189	165	223	35	250	158	654
18266-13	290	47	143	96	15	8	14	90	45	198	572	231	40	247	153	2809
18267-3	355	42	146	50	9	9	17	120	100	92	1003	140	28	232	119	8641
18268-8	344	21	168	68	8	16	4	108	54	107	926	138	26	241	107	5798
18269-7	382	32	199	60	17	7	5	141	76	92	836	123	26	230	109	10976
18270-11	439	28	163	63	15	10	13	166	44	110	652	148	27	225	123	8601
18271-15	455	47	246	77	12	7	14	206	70	147	631	189	33	308	172	6352
18272-14	384	16	120	108	6	7	7	112	41	101	610	119	27	237	115	16187
18273-4	361	34	145	53	12	7	11	139	148	108	1628	154	29	215	142	13640

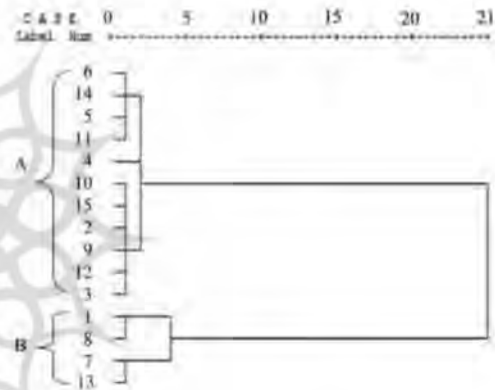
جدول شماره ۲ محتوای عناصر اصلی سفال‌های بررسی شده در شهر سوخته را نشان می‌دهد. نمونه سفال‌ها، ترکیبی کاملاً همگن را نشان می‌دهند. درصد وزن خشک سیلیکا  $\text{SiO}_2$  از ۴۷/۳۶ تا ۶۲/۴۶ درصد است. درصد مقدار آلومینیوم از ۱۰/۵۱ تا ۱۷/۸۴ درصد است. مقدار کلسیم و آهن به ترتیب از ۱/۵۵ تا ۱۲/۶۹ و ۴/۷۱ تا ۸/۸۴ درصد هستند. عناصر قلیایی مانند منیزیم، سدیم و پتاسیم به ترتیب وزن خشکی از ۳/۳۳ تا ۹/۸۷؛ ۱/۴۲ تا ۴/۴۳ و ۱/۸۰ تا ۳/۴۴ درصد را نشان می‌دهد. شکل ۵ نمودار پراکندگی  $\text{Al}_2\text{O}_3$  را نشان می‌دهد که در این نمودار چهار قطعه دارای ترکیب شیمیایی مختلف در مقایسه با سایر نمونه‌ها وجود دارد که در این مقاله با شماره‌های ۹-۱۸۲۵۹؛ ۱۰-۱۸۲۶۵؛ ۱۳-۱۸۲۶۶؛ ۱۵-۱۸۲۷۱ (نمونه‌های سفال قرمز و خاکستری) مشخص شده است.

این چهار نمونه، مقدار بسیار زیاد سیلیکا، آلومینیوم، آهن و پتاسیم و به همان نسبت درصد کمی کلسیم و منیزیم دارند. بنابراین به نظر می‌رسد که این نمونه‌ها متعلق به مکان‌های متفاوتی هستند. دسته‌بندی تراکم خوشه‌ای (HCA) آلومینا  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و اکسید کلسیم  $\text{CaO}$  نشان می‌دهد که دو گروه سفال وجود دارد که ما آن‌ها را تحت عنوان گروه‌های A, B می‌شناسیم که سفال‌های گروه A شامل سفال‌های بومی و گروه B جزو سفال-های وارداتی شناخته می‌شوند. درصد دی فسفر پنتااکسید  $\text{P}_2\text{O}_5$  در بسیاری از نمونه‌ها متوسط است که بیشتر نمونه‌ها از این درصد تبعیت می‌کنند و نشان می‌دهد که هیچ کدام از این ظروف برای ذخیره برخی مواد طبیعی و ارگانیک مورد استفاده قرار نگرفته‌اند.

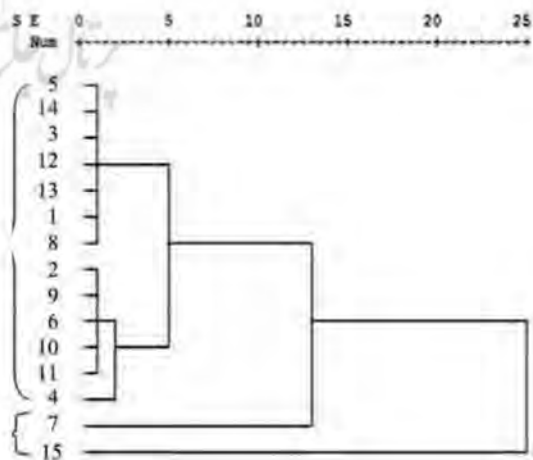


شکل ۵: نمودار پراکندگی اکسید آلومینیوم در برابر اکسید کلسیم

سنجش عددی فاصله‌های استفاده شده در این فرمول بر اساس فرمول وارد موسوم به « Ward's Linkage and Squared Euclidean Distance Algorithm » انجام پذیر شد. نتایج در نمودار دندروگرام ۳ و ۴ (شکل‌های ۳ و ۴) ارائه شده است که شکل گرافیکی، فاصله بین نمونه‌های سفالی را بر اساس غلظت دی اکسید تیتانیوم و اکسید منیزیم و همچنین غلظت استرانسیوم و روبیدیوم نشان می‌دهد. عملکرد کاربردی روش‌های تحلیلی برای تجزیه و تحلیل چند عنصری بوسیله آنالیز XRF قطعات سفال‌ها با استفاده از تجزیه و تحلیل CRM به عنوان عامل کنترل کننده کیفیت در روند تجزیه و تحلیل به کار برده شد.

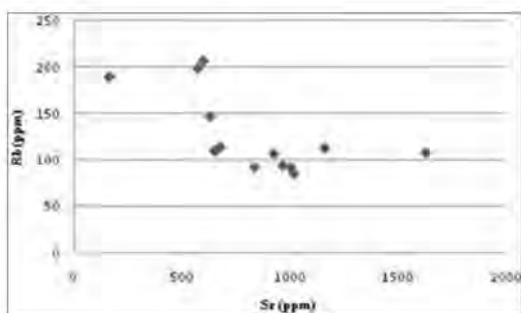


شکل ۳: دسته‌بندی تراکم خوشه‌ای اکسید آلومینیوم و اکسید کلسیم در نمونه سفال‌های آزمایش شده



شکل ۴: دسته‌بندی تراکم خوشه‌ای روبیدیوم و استرانسیوم در نمونه سفال‌های آزمایش شده





شکل ۶: نمودار پراکندگی استرانسیوم در برابر روبیدیوم

روبییدیوم یک نتیجه متفاوت در مقایسه با دسته‌بندی  $CaO$  و  $Al_2O_3$  را نشان می‌دهد اما احتمالاً پیشنهاد می‌شود که نمونه شماره ۱۰-۱۸۲۶۵ (سفال خاکستری ظریف) به‌عنوان یک قطعه وارداتی از دره سند بوده است درحالی‌که سه قطعه دیگر که با شماره‌های ۹-۱۸۲۵۹ (سفال خاکستری) و ۱۳-۱۸۲۶۶ و ۱۵-۱۸۲۷۱ (سفال‌های قرمز) هستند تولید شهر سوخته نیستند.

#### ۶- نتیجه‌گیری

تجزیه عنصری قطعات سفال شهر سوخته نشان می‌دهد که بیشتر این نمونه‌ها از شهر سوخته بوده و تولید محلی شهر سوخته هستند. بیشتر این قطعه سفال‌ها از خاک-های حاوی آهک ساخته شده‌اند. نمونه‌های شماره ۹-۱۸۲۵۹، ۱۰-۱۸۲۶۵، ۱۳-۱۸۲۶۶ و ۱۵-۱۸۲۷۱ بیانگر میزان بالاتری از سیلیکا، آلومینیوم، آهن و پتاسیم و میزان کمتری کلسیم، منیزیم است. بدین ترتیب می‌توان پیشنهاد نمود که چهار نمونه‌ی مذکور تولید شهر سوخته نبوده و می‌توانند اقلام بازرگانی شده بوده باشند و وارداتی قلمداد شوند. بر اساس میزان عناصر فرعی و کمیاب، قطعه شماره ۱۰-۱۸۲۶۵ که دربرگیرنده درصد بالاتری سرب نسبت به سایر قطعه‌ها بوده است می‌توان گفت که این قطعه احتمالاً از دره سند وارد شده است. بر اساس میزان عناصر اصلی و فرعی می‌توان پیشنهاد داد که نمونه‌های ۹-۱۸۲۵۹، ۱۰-۱۸۲۶۵، ۱۳-۱۸۲۶۶، ۱۵-۱۸۲۷۱ و ۴-۱۸۲۷۳ از تولیدات محلی شهر سوخته نمی‌باشند. در واقع همان‌طور که پیش از این توضیح داده شد سفال قرمز و خاکستری بیشتر در منطقه بلوچستان و مکران رایج بوده و در جدول شهر سوخته با اختلاف

همچنین درصد بالای اکسیدکلسیم  $CaO$  در یازده قطعه نشان می‌دهد که سفال‌گر شهر سوخته از گل آهکی یا خاک حاوی آهک به‌عنوان منبع اصلی تهیه گل سفال استفاده نموده است.

محتوای عناصر در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که یکی از سفال‌ها (نمونه ۱۰-۱۸۲۶۵) درصد بالایی از سرب با غلظت ۵۶۱ ppm دارد. معمولاً سرب به‌عنوان عامل رنگزا یا ماده رنگی به سفال‌های باستانی اضافه می‌شده است و در جوامع باستانی از جمله دره سند سرب به‌عنوان عامل رنگ‌ساز Colorant استفاده شده است (Caleb, 1991). با این حال بر اساس رنگ سفال‌های نخودی، به نظر می‌رسد که مقدار زیاد سرب موجود در سفال‌ها از رنگدانه‌های طبیعی بوده است که بر روی سطح سفال وجود دارد. این نمونه (نمونه ۱۰-۱۸۲۶۵) همچنین دارای غلظت کمی استرانسیوم نسبت به سایر نمونه‌هاست. چهار نمونه که قبلاً ذکر شد با شماره‌های ۹-۱۸۲۵۹؛ ۱۰-۱۸۲۵۶؛ ۱۳-۱۸۲۶۶؛ ۱۵-۱۸۲۷۱ یعنی نمونه سفال‌های خاکستری و قرمز، همچنین در مقایسه با سایر نمونه‌ها در صد بالای وانادیم دارند. غلظت وانادیوم به ترتیب ۲۸۵، ۲۲۳ و ۱۸۹ ppm است. شکل شماره ۶ نمودار پراکندگی استرانسیوم در مقابل روبیدیوم را نشان می‌دهد که بیانگر این است که بعضی قطعات تولید بومی و محلی ندارند و احتمالاً جزو گروه وارداتی هستند. اما تعداد زیادی از قطعات به یک گروه وابسته‌اند که جزو طبقه‌بندی سفال تولید داخلی پیشنهاد می‌شود. دسته‌بندی تراکم خوشه‌ای استرانسیوم و غلظت روبیدیوم نشان می‌دهد که نمونه‌ها را به دو گروه عمده می‌توان تقسیم کرد. بیشتر نمونه‌ها در گروه A قرار دارند که در گروه تولیدات محلی جای می‌گیرند (Sarhadi-Dadian *et al.*, 2015)، درحالی‌که گروه B گروه سفال‌های وارداتی است. دسته‌بندی تراکم خوشه‌ای استرانسیوم و غلظت روبیدیوم نشان می‌دهد که دسته‌بندی نمونه‌های ما به دو گروه A و B صحیح است و در گروه A نمونه سفال‌های تولید محلی و در گروه B سفال‌های احتمالاً وارداتی دیده می‌شوند (شکل ۶).

دسته‌بندی سلسله‌مراتب استرانسیوم و غلظت

در اختیار قرار دادن نمونه سفال‌ها تشکر نمایند.

### منابع فارسی

- استوارت، باربارا. (۱۳۹۳) **روش‌های تجزیه مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی**. ترجمه مسعود باقرزاده کنیری، تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
- سید سجادی. سید منصور و حسین مرادی، (۱۳۸۶)، «گزارش کاوش در بنای یادمان» در: گزارش‌های باستان‌شناسی (۷) جلد اول: مجموعه مقالات نهمین کنگره بین‌المللی باستان‌شناسی ایران، جلد اول، پژوهشکده باستان‌شناسی تهران صص ۲۹۹-۳۰۴.

### منابع لاتین

- Piperno, M., & Tosi, M. (1975). The Graveyard of Shahr-i Sokhta Iran. *Archaeology*, 186-197.
- Ramli, Z., Nik Abdul Rahman, N., & Samian, A. (2010-a). X-ray fluorescent analysis on Indo-Pacific glass beads from Sungai Mas archaeological sites, Kedah, Malaysia. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 287(3), 741-747.
- Ramli, Z., Rahman, N. A., Shuhaimi, N. H., Jusoh, A., & Hussein, M. (2012). Compositional analysis on ancient bricks from Candi Sungai Mas (Site 32/34), Bujang Valley, Kedah. *American Journal of Applied Sciences*, 9 (2), 196-201.
- Ramli, Z., Rahman, N. H. A., Jusoh, A., & Sauman, Y. (2011-b). X-Ray Diffraction and X-Ray Fluorescent Analyses of Prehistoric Pottery Shards from Ulu Kelantan. *American Journal of Applied Sciences*, 8(12), 1337.
- Ramli, Z., Rahman, N. H. S. N. A., Samian, A. L., & Yanno, M. A. (2011). Scientific analysis of ancient bricks at Bukit Pendiat temple (Site 17) and Pengkalan Bujang temple (Site 23). *Research Journal of Applied Sciences*, 6(7), 473-478.
- Sajjadi, S. M. S., Foruzanfar, F., Shirazi, R., & Baghestani, S. (2003). Excavations at Shahr-i Sokhta. First Preliminary Report on the Excavations of the Graveyard, 1997-2000. *Iran*, 21-97.
- Sajjadi, S.M.S. and H. Moradi, (2014), Excavation at Buildings Nos.1 and 20 at Shahr-i-Sokhta, *International Journal of the Society of Iranian Archaeologists*, Vol. 1, No.1, pp. 77-90
- Sarhadi-Dadian, H. Ramli, Z. Nik Abdul Rahman, N & Mehrafarin, R. (2015), X-Ray Differaction and X-Ray Flurescence Analysis of Pottery Shards from New Archaeological Survey in

بسیار زیاد نسبت به سفال نخودی در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. بر اساس این آزمایش به نظر می‌رسد که سفال‌های نخودی تولید خود شهر سوخته بوده و سفال‌های قرمز و خاکستری از نقطه‌ای دیگر به شهر سوخته وارد شده است.

### سپاسگزاری

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از جناب دکتر سیدمنصور سیدسجادی (سرپرست هیئت باستان‌شناسی شهر سوخته)، سعید پارسایان (مسئول موزه جنوب شرق) برای

South Region of Sistan, Iran. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*. Vol 5. NO 3. pp. 45-56.

Salvatori, S & M. Tosi., 2005, Shahr-i Sokhta Revised Sequence. In C. Jarrige and V. Lefèvre, (eds.) *South Asian Archaeology 2001*: 281-292, Editions Recherches sur les Civilisations, Paris.

Salvatori, S. and M. Vidale., (1997). Sokhta 1975-1978: Central Quarters Excavations, preliminary report. *Roma: Istituto italiano per l'Africa e l'Oriente, IsIAO*.

Salvatori, S., & Tosi, M. (2001). Shahr-i Sokhta revised sequence. *South Asian Archaeology*, 1, 281-292.

Sarianidi, V. I. (1983). The Pottery of Shahr-i Sokhta I and its Southern Turkmenian Connections. *Prehistoric Sistan I*, In: Tosi, M. (ed.), *Prehistoric Sistan 1*, IsMEO, Rome 183-198.

Tosi, M. (1984). The notion of craft specialization and its representation in the archaeological record of early states in the Turanian Basin. *Marxist perspectives in archaeology*, 22-52.

Tosi, M. (Ed.). (1983). *Prehistoric Sistan*. IsMEO.

Tosi, M., (1973), The cultural Sequence of Shahr I Sokhta. *Bull. Asia Instit. Pahlavi Univ.*, 3: 64-80.

Vidale, M., & Tosi, M. (1996). The development of wheel throwing at Shahr-i Sokhta slow and fast revolutions towards statehood. *East and West*, 46(3-4):, 251-269.

Wong, E. H., Petrie, C. A., & Fazeli, H. (2010). Cheshmeh Ali Ware: A Petrographic and Geochemical Study of A Transitional Chalcolithic Period Ceramic Industry on The Northern Central Plateau of Iran. *Iran*, 47: 11-26.