

تعیین منشأ اسیدین‌های به‌دست آمده از نادرته‌ اصلاندوز با استفاده از روش آنالیز پیکسی

محمد لامعی رشتی^۱، فاطمه فرشی جلالی^۲، داوود آقاعلی گل^۱، پروین اولیائی^۱، فرانک بحرالعلومی^۳ و فرح شکوهی^۱

۱. مرکز تحقیقات هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران؛ آزمایشگاه واندوگراف، بخش فیزیک هسته‌ای
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد باستان‌شناسی دانشگاه تهران، ۳. پژوهشگر آزاد

چکیده

در این مقاله نتایج تجزیه عنصری تعدادی از اسیدین‌های به‌دست آمده از نادرته‌ اصلاندوز با استفاده از روش پیکسی (PIXE) تجزیه شده است. هدف از این تجزیه عنصری، بررسی تعیین منشأ این نمونه‌ها است. نمونه‌های تجزیه شده، حاصل بررسی محوطه‌ نادرته‌ اصلاندوز است. این محوطه در منتهی‌الیه شمال غربی ایران قرار دارد. به‌دلیل فراوانی و اسیدین در محوطه‌های باستانی شمال غرب ایران (مانند حاجی‌فیروز و اهرنجان) و همسایگی آن با مناطق آناتولی و قفقاز، این محوطه انتخاب شد. این کار با استفاده از تجزیه عنصری نمونه‌ها و تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده از روش پیکسی انجام شده است. نتایج به‌دست آمده از این بررسی با نتایج حاصل از مناطق آناتولی و قفقاز که خود به‌عنوان منابع اسیدین شناخته می‌شوند، مقایسه شده‌اند. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که نمونه‌های به‌دست آمده در ایران احتمالاً منشائی غیر از اسیدین‌های آناتولی و قفقاز دارند.

واژه‌های کلیدی: اسیدین، نادرته‌ اصلاندوز، پیکسی، منشایی، تحلیل آماری.

مقدمه

سرد شدن سریع گدازه آتشفشانی، که غنی از سیلیس است سبب تشکیل شیشه آتشفشانی اسیدین می‌شود (تاربوک ۱۳۸۲). اسیدین فاقد ساختمان اتمی منظم (بلوری) است و از نظر فیزیکی بی‌شکل و همسانگرد است. به‌همین دلیل ماده خام مناسبی برای ساخت ابزار سنگی به‌شمار می‌رود، چون تقریباً هر ضربه‌ای باعث

جدا شدن تراشه از سنگ مادر می‌شود (Glascocock 2002). اسیدین از معدود مواد خامی است که به کمک آن می‌توان مسیرهای مبادلاتی و تجارتي و روابط متقابل فرهنگی مردمان پیش از تاریخ را شناسایی کرد.

مطالعات ژئوشیمیایی نشان داده است که اسیدین‌های هر منبع، همیشه در ترکیبات شیمیایی یکسان هستند و تعداد محدود منابع قابل بهره‌برداری سبب می‌شود تا تقریباً همیشه تشخیص مطمئنی درباره منشأ دست‌ساخته‌های اسیدینی به‌دست آید. با وجود اینکه دست‌ساخته‌های اسیدینی به‌طور گسترده در محوطه‌های باستانی پراکنده شده‌اند اما یافته‌های زمین‌شناختی که تاکنون شناخته شده‌اند به منابع نسبتاً اندکی محدود است که آن نیز به‌لحاظ جغرافیایی محدود به چند منطقه می‌شود. در خاورمیانه و منطقه مدیترانه این معادن فقط در ایتالیا، برخی جزایر اژه، ایران، ارمنستان و آناتولی وجود دارد (Constantinescu 2002).

در خاورمیانه مبادله اسیدین به‌صورت محدود از دوره نوسنگی تا مفرغ دیده می‌شود. اغلب منابع مهم اسیدین خاورمیانه، در آناتولی و قفقاز واقع است. منابع کوچکتری هم در جنوب یمن، احتمالاً در جزایر دریای سرخ و شاید هم در ایران وجود دارد. منابع اصلی آناتولی و قفقاز به چهار گروه تقسیم می‌شوند: آناتولی مرکزی (کاپادوکیه)، شمال شرقی آناتولی، جنوب شرق آناتولی (اطراف دریاچه وان) و قفقاز (ارمنستان، گرجستان و آذربایجان) (Abdi 2004).

برای تجزیه عنصری و شناسایی ترکیبات شیمیایی اسیدین، روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان به فعال‌سازی نوترونی، ICPES, XRF, PIXE اشاره کرد (Gurlt et. al. 2005). در این پژوهش برای تجزیه عنصری از روش



۵- فراوانی دست‌ساخته‌های اسیدینی در محوطه‌های پیش از تاریخی منطقه آذربایجان مانند اهرنجان (کارگر ۱۳۷۴)، حاجی‌فیروز (Voigt 1983) دلیل دیگری برای انتخاب این محوطه است؛

۶- علاوه بر دلایل بالا، با استفاده از داده‌های بررسی سطحی فرصت مناسبی برای فعالیت‌های آزمایشگاهی فراهم می‌شود. در مناطق همجوار (آنتولی و قفقاز) منابع اسیدین، شناسایی و ترکیبات آن شناخته شده است (Cauvin, et. al. 1998)، فقدان مطالعات منشأشناختی اسیدین در ایران و پرسش‌های فراوان مطرح شده در زمینه چگونگی تأمین اسیدین مورد نیاز مردمان پیش از تاریخ سبب شده تا پاسخ مناسبی به آنها داده نشود.



تصویر ۱. تصویر دو نمونه تجزیه شده با استفاده از روش پیکسی

Pl. 1. Picture of two analyzed samples using PIXE method.

پیکسی استفاده شده است. تجزیه عنصری به روش پیکسی یکی از روش‌های متداول تجزیه عنصری مواد است. پیکسی یا «گسیل پرتو X بر اثر تابش پروتون» روش توانمندی برای تجزیه غیر مخرب، سریع و بس عنصری نمونه‌های مختلف، از جمله نمونه‌های باستان‌شناسی است. در این روش تجزیه، نمونه مورد بررسی تحت تابش پروتون با انرژی ۳-۲ MeV قرار می‌گیرد. در اثر برخورد پروتون با الکترون‌های اتم‌های هدف، پرتوهای X مشخصه‌ای گسیل می‌شود که انرژی پرتوهای X، نوع عناصر موجود در نمونه را تعیین می‌کند و تعداد پرتوهای X با انرژی معین، غلظت عناصر موجود در نمونه را مشخص می‌کند (Johansson 1995, Bird and Williams). باریکه مورد استفاده در پیکسی متداول ابعادی در حدود ۱×۱ میلیمتر مربع دارد. این روش تجزیه در ایران در آزمایشگاه واندوگراف سازمان انرژی اتمی ایران انجام می‌شود.

بافت باستان‌شناختی نمونه‌ها

نمونه‌های اسیدینی مورد نیاز برای تجزیه پیکسی، از بررسی سطحی نادرته اصلاندوز تهیه گردید. این تپه به فاصله تقریبی ۱۲۰۰ متری جنوب رود ارس و ۶۰۰ متری شرق قره‌سو در بخش جنوب غربی شهر اصلاندوز در داخل محوطه پاسگاه مرزی اصلاندوز واقع شده است. اصلاندوز مرکز بخش اصلاندوز یکی از بخش‌های شهرستان پارس‌آباد در شمال شرق منطقه آذربایجان و در محل تقاطع دو رود ارس و قره‌سو قرار دارد (قاسمی ۱۳۷۷). موقعیت جغرافیایی نادرته از چند جهت قابل توجه است. محوطه اصلاندوز در دشت مغان در منطقه آذربایجان واقع است و از جمله مناطقی است که به لحاظ جغرافیایی و زمین‌شناختی شرایط لازم برای وجود معادن اسیدین را دارد. یافته‌های باستان‌شناختی نیز گواهی بر فراوانی اسیدین در این منطقه است. دیگر دلایل انتخاب این محوطه بدین شرح است:

- ۱- نادر تپه یکی از بزرگترین محوطه‌های دشت مغان است؛
- ۲- نادر تپه موقعیتی استراتژیک دارد. این تپه در ملتقای دو رود ارس و قره‌سو قرار دارد. گذشته از این، نادرته در منطقه اصلاندوز قرار گرفته که دارای حاصلخیزترین زمین‌های کشاورزی دشت مغان است (خاماچی ۱۳۷۰)؛
- ۳- اسیدین‌های این محوطه از نظر کمی و کیفی برای تجزیه مناسب هستند؛

- ۴- موقعیت جغرافیایی نادرته قابل توجه است. محوطه در نزدیکی معادن قفقاز و آنتولی واقع است و امکان مقایسه نتایج تجزیه اسیدین‌های نادرته با معادن مذکور وجود دارد. از طرف دیگر نادرته در منطقه آذربایجان قرار دارد و کوه‌های آتشفشانی سه‌هند و سیلان احتمالاً منابع اسیدین را در داخل ایران فراهم می‌آورده است (Burney 1962)؛

بررسی سطحی با روش نمونه برداری اتفاقی انجام شد. بررسی توسط آقای میرروح‌الله محمدی در سال ۱۳۸۳ در قالب یک پایان‌نامه انجام شد (محمدی ۱۳۸۳). از مجموع یافته‌های سطحی (شامل سفال، مصنوعات سنگی از جنس چرت و ابسیدین) ۱۷۶ قطعه مصنوعات ابسیدینی است که حدود ۵۹ درصد از کل مصنوعات سنگی نادرته را شامل می‌شود. کل مجموعه ابسیدینی، پشت‌نویسی، عکاسی، توصیف، گونه‌شناسی و طراحی شد.

این مجموعه شامل دو گروه برداشته‌ها و قطعات رتوش‌دار است. برداشته‌ها شامل تراشه‌های بدون رتوش و تیغه‌های بدون رتوش و ضایعات است. علاوه بر این موارد، قطعات اصلاح رویه سنگ مادر و سکوی ضربه نیز در این گروه مطالعه شده است. بنابراین، گروه برداشته‌ها شامل: تراشه‌های ساده (۵۷ عدد)، تیغه‌های ساده (۳ عدد) سنگ مادر (۹ عدد) تکه‌های سنگ مادر و خرده‌ها (۹۵ عدد) است. قطعات رتوش‌دار نیز شامل قطعات کنگره‌دار و رتوش‌دار است. تعداد این گروه نیز به این ترتیب است: رتوش‌دار (۶ عدد) و کنگره‌دار (۴ عدد). در کنار مصنوعات سنگی نادرته، دو شیء ابسیدینی مشاهده می‌شود، یکی از آنها بخشی از یک حلقه است و دیگری بخشی از لبه یک ظرف است. از کل مجموعه ۱۵ قطعه کورتکس‌دار بودند. ویژگی‌های فیزیکی مصنوعات ابسیدینی نشان داد که از مجموع ۱۷۶ قطعه ابسیدین، ۶۶ درصد به رنگ سیاه، ۲۵/۶ درصد به رنگ خاکستری، ۴/۶ درصد به رنگ قهوه‌ای، ۳/۴ درصد بی‌رنگ و ۵/۶ درصد به رنگ خاکستری - سبز است.

مجموعه، نمونه‌های شاخصی برای گاهنگاری قطعی ندارد و با توجه به همپوشانی مجموعه ابزار سنگی (چرت و ابسیدین) با سفال‌های عصر مفرغ بر روی سطح نادرته احتمال دارد ابزارها نیز متعلق به عصر مفرغ باشد. از مجموع ۱۷۶ قطعه مصنوعات ابسیدینی، ۹۵ قطعه ضایعات بود. از ۹۵ قطعه ۶۸ قطعه برای تجزیه پیکسی انتخاب و با استفاده از این روش تجزیه شد.

شرایط آزمایش

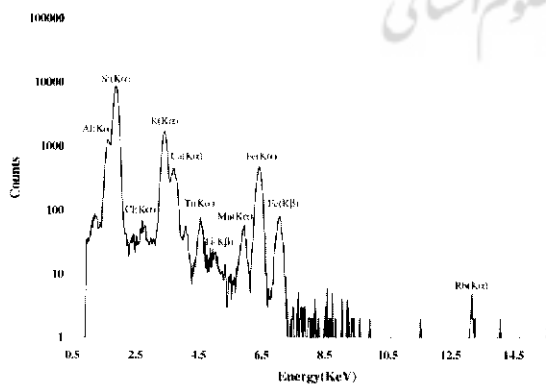
برای تجزیه نمونه‌ها با روش پیکسی متداول از باریکه پروتون با انرژی ۲ MeV و جریان باریکه حدود ۵-۴ نانو آمپر و ابعاد باریکه در حدود ۱×۱ میلی‌متر مربع استفاده شده است. باریکه پروتون مورد نیاز برای تجزیه عنصری، توسط شتاب‌دهنده و اندوگراف ۳ MV بخش فیزیکی هسته‌ای تولید می‌شود. انرژی پروتون X گسیل شده از نمونه در اثر برخورد پروتون، توسط آشکارساز نیمه‌رسانا از نوع Si(Li) که در زاویه ۱۳۵ درجه نسبت به پرتوهای پروتون فرودی قرار گرفته است، اندازه‌گیری شده و توسط یک سیستم چند کانالی نمایش داده می‌شود. آشکارساز Si(Li) استفاده شده برای آزمایش دارای قدرت

تفکیک ۱۷۰ eV برای Fe(K α) است. برای اندازه‌گیری عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌های تجزیه شده از طیف‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار GUPIX [۱۵] استفاده شده است.

تحلیل آماری

با استفاده از تجزیه پیکسی نمونه‌ها، غلظت ۱۰ عنصر با دقتی در حدود 10 ppm به‌دست آمد. نتایج حاصل از تجزیه عنصری نمونه‌ها در جدول‌های پیوست آمده است. اگرچه با بررسی ساده، شاید بتوان نمونه‌هایی را که از لحاظ ترکیب عنصری تفاوت فاحشی با یکدیگر دارند تشخیص داد، اما با توجه به تعداد زیاد مؤلفه‌های هر نمونه (غلظت عناصر اندازه‌گیری شده) امکان بررسی کامل، بدون استفاده از روش‌های تحلیل آماری تقریباً غیر ممکن است.

با استفاده از آزمون آماری مناسب می‌توان نتایج به‌دست آمده از تجزیه عنصری نمونه‌ها را تحلیل کرد. هدف از تجزیه آماری این داده‌ها بررسی و شناسایی گروه‌هایی از نمونه‌ها است که شباهت زیادی از لحاظ ترکیب عنصری با هم دارند. بنابراین یکی از مهمترین روش‌های آماری که در بررسی‌های منشأ ابسیدین و دیگر اشیاء باستانی از آن استفاده می‌شود «تجزیه فاکتوری» است. یکی از شیوه‌های تجزیه فاکتوری «تجزیه اجزای اصلی» است که به آن روش PCA گفته می‌شود (Jolliffe 1986). در این روش، نتایج حاصل از تحلیل آماری نمونه‌ها معمولاً در یک دستگاه مختصات دو یا سه‌بعدی رسم می‌شوند که هر محور یکی از اجزای اصلی است که در تجزیه فاکتوری به‌دست آمده است. هر نقطه در این دستگاه مختصات متناظر با یک نمونه است که در تحلیل آماری شرکت داده شده است. میزان دوری و نزدیکی این نقاط نسبت به یکدیگر، شاخصی از شباهت یا عدم شباهت آنها با یکدیگر تلقی می‌شود. تحلیل‌های آماری در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شده است (SPSS For Windows Release 1998).



شکل ۱. طیف به‌دست آمده از تجزیه پیکسی یک نمونه تجزیه شده.
Fig. 1. Typical PIXE spectrum from one of Nader Tepe Aslanduz Obsidian samples.





Sample Code	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	Ti ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	ZnO	Rb ₂ O	Zr
20H,4	12.39	81.45	-	0.24	4.5	0.6	0.09	0.05	0.68	-	-	-
20H,5	13.04	80.93	-	0.27	4.62	0.39	0.08	0.06	0.61	-	-	-
23K,3	13.14	81.54	-	0.19	4.22	0.37	0.06	0.04	0.44	-	-	-
22V,3	12.56	80.73	-	-	5.02	0.5	0.1	0.1	0.99	-	-	-
9U,1	12.91	79.74	-	0.38	5.18	0.48	0.1	0.08	1.11	0.02	-	-
9U,3	13.25	81.28	-	0.2	4.42	0.36	0.05	0.04	0.4	-	-	-
19G,2	13.3	81.65	-	0.3	3.8	0.45	0.05	0.04	0.41	-	-	-
19G,5	13.527	81.56	-	0.23	3.92	0.31	0.06	0.04	0.34	0.003	0.01	-
19G,6	13.08	81.2	-	-	4.7	0.37	0.06	0.05	0.54	-	-	-
23T,2	13.48	80.91	-	0.21	4.05	0.41	0.08	0.07	0.79	-	-	-
6X,2	12.71	80.44	-	0.04	5.2	0.47	0.1	0.08	0.96	-	-	-
24D,2	12.92	80.45	0.4	0.26	4.45	0.5	0.08	0.07	0.81	0.01	0.03	0.02
3G',2	13.16	81.05	-	0.17	4.66	0.39	0.06	0.04	0.47	-	-	-
8L',2	13.23	81.35	-	0.61	3.74	0.48	0.06	0.05	0.48	-	-	-
21I	13.26	81.44	-	0.22	4.2	0.4	0.06	0.05	0.37	-	-	-
22G	13.1	80.35	0.43	0.28	4.41	0.66	0.08	0.06	0.63	-	-	-
24L,2	13.4	81.25	-	0.29	4.1	0.37	0.07	0.05	0.47	-	-	-
24L,3	13.6	81.87	-	0.49	3.36	0.3	0.04	0.04	0.3	-	-	-
14H,2	13.81	82.06	-	0.17	3.3	0.27	0.05	0.03	0.31	-	-	-
14H,3	13.16	81.23	-	0.47	4.18	0.4	0.06	0.04	0.46	-	-	-
17H,2	13.34	81.07	-	0.32	4.13	0.47	0.07	0.05	0.55	-	-	-
3C1	13.22	80.57	-	-	4.72	0.48	0.09	0.07	0.85	-	-	-
24I,1	13.02	81.776	-	0.26	3.89	0.45	0.07	0.04	0.48	0.004	0.01	-
24I,5	12.26	82.51	-	0.24	3.957	0.44	0.06	0.04	0.48	0.003	0.01	-
16G,2	13.26	81.5	-	0.24	3.98	0.37	0.05	0.06	0.54	-	-	-
25P,3	13.53	80.01	0.46	0.4	4.03	0.73	0.08	0.06	0.7	-	-	-
13D,4	13.1	80.3	-	0.32	4.63	0.46	0.11	0.07	1.01	-	-	-
23H,2	13.39	81.45	-	0.3	3.92	0.35	0.06	0.05	0.48	-	-	-
26K,3	13.63	81.59	-	0.2	3.6	0.45	0.07	0.04	0.42	-	-	-
7H', 1	13.2	81.95	-	-	3.94	0.36	0.06	0.05	0.44	-	-	-
7H', 2	12.744	81.432	-	0.31	4.3	0.41	0.08	0.06	0.64	0.004	0.02	-
24U	13.1	81.74	-	0.15	4.11	0.4	0.06	0.04	0.4	-	-	-
13J,1	13.42	82.58	-	-	3.34	0.28	0.04	0.04	0.3	-	-	-
12J	13.2	80.81	-	0.38	4.2	0.43	0.09	0.07	0.82	-	-	-
20W	13.68	81.87	-	0.2	3.6	0.31	0.05	0.04	0.25	-	-	-
25Y	12.86	81.84	-	0.29	4.15	0.36	0.06	0.04	0.4	-	-	-
22M. 2	13.38	81.71	-	0.18	3.87	0.37	0.05	0.05	0.39	-	-	-
17E	12.62	81.13	-	0.27	4.48	0.46	0.07	0.1	0.87	-	-	-

شکل ۲. نتایج مربوط بویژه مقادیر و واریانس مؤلفه‌های اصلی به دست آمده از تجزیه فاکتوری (ادامه جدول در صفحه بعد).

Fig. 2. Eigenvalues and percentages of variance for first four principal components in principal component analysis.

Sample Code	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	Ti ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	ZnO	Rb ₂ O	SrO
19S	12.35	80.13	-	0.35	5.42	0.91	0.08	0.05	0.71	-	-	-
24R,1	13.48	81.9	-	0.11	3.75	0.32	0.05	0.04	0.35	-	-	-
24R,2	13.31	81.15	-	-	4.7	0.55	0.1	0.06	0.13	-	-	-
24R,3	13.674	82.1	-	0.15	3.373	0.28	0.04	0.03	0.34	0.003	0.01	-
22J, 1	13.61	81.43	-	0.19	3.95	0.32	0.06	0.04	0.38	-	0.01	0.01
22J,2	12.84	79.6	-	-	5.5	0.55	0.1	0.11	1.3	-	-	-
22J,3	13.39	81.704	-	0.18	3.843	0.36	0.06	0.04	0.4	0.003	0.02	-
23N,1	13.34	81.62	-	0.23	3.82	0.36	0.06	0.06	0.51	-	-	-
23N,2	12.88	81.14	-	0.25	4.46	0.43	0.09	0.07	0.68	-	-	-
11B	12.88	81.85	-	-	3.97	0.41	0.08	0.07	0.74	-	-	-
15L	13.04	81.18	-	-	4.17	0.78	0.07	0.06	0.7	-	-	-
16B'	13.24	81.02	-	-	4.72	0.37	0.07	0.05	0.53	-	-	-
18L.1	13.4	81.91	-	-	4.08	0.38	0.07	0.05	0.11	-	-	-
1G	13.66	78.19	-	0.37	5.2	1.04	0.15	0.08	1.31	-	-	-
11L'	13.07	81.53	-	0.3	4.09	0.41	0.07	0.04	0.49	-	-	-
21L	13.18	81.32	-	0.32	4.06	0.39	0.07	0.1	0.56	-	-	-
1B'	10.41	82.26	-	0.58	5.05	0.71	0.1	0.07	0.82	-	-	-
29F'	13.08	80.72	-	0.24	4.25	0.89	0.08	0.05	0.69	-	-	-
21F	13.11	81.316	-	0.29	4.2	0.41	0.06	0.04	0.56	0.004	0.01	-
22S	13.13	81.85	-	0.29	3.84	0.38	0.06	0.04	0.41	-	-	-
11E	13.4	81.96	-	0.21	3.49	0.38	0.06	0.04	0.46	-	-	-
25S	13.48	81.98	-	0.23	3.51	0.35	0.05	0.04	0.36	-	-	-
1K'	13.16	81.53	-	-	3.97	0.49	0.08	0.07	0.7	-	-	-
9F	13.32	81.87	-	-	4.02	0.34	0.06	0.05	0.34	-	-	-
25J	13.55	81.01	-	0.24	4	0.5	0.08	0.06	0.56	-	-	-
8H	13.24	81.58	-	0.13	4.06	0.38	0.06	0.05	0.5	-	-	-
8I'	12.7	80.28	-	0.51	4.97	0.47	0.09	0.08	0.9	-	-	-
4G. 1	13.65	82.12	-	0.28	3.3	0.3	0.05	0.03	0.27	-	-	-
4G. 2	13.48	81.75	-	0.28	3.7	0.34	0.04	0.04	0.37	-	-	-
4G. 3	14.57	81.317	-	0.16	3.18	0.37	0.04	0.03	0.28	0.003	0.05	-
24O	12.87	79.895	-	0.23	5.57	0.76	0.07	0.05	0.55	0.005	-	-

ادامه شکل ۲. نتایج مربوط بویژه مقادیر و واریانس مولفه‌های اصلی به دست آمده از تجزیه فاکتوری.

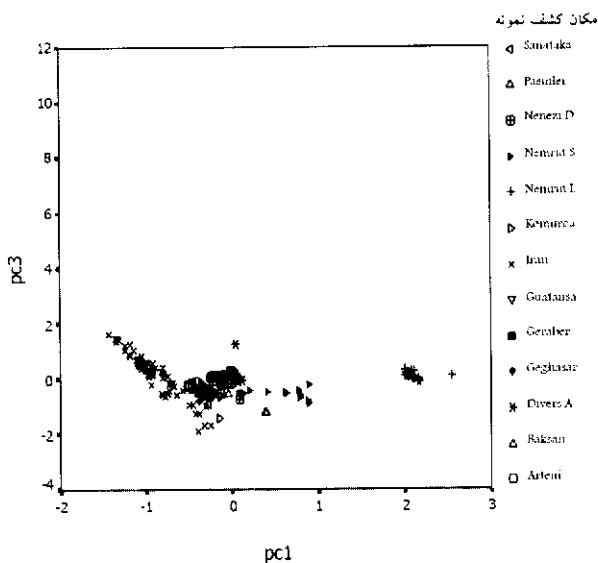
Fig. 2. Eigenvalues and percentages of variance for first four principal components in principal component analysis.

مؤلفه اصلی	ویژه مقدار هر مؤلفه	واریانس هر مؤلفه (%)	مجموع واریانس‌ها (%)
۱	۳/۴۵۵	۴۹/۳۵۴	۴۹/۳۵۴
۲	۱/۲۴۰	۱۷/۷۱۸	۶۷/۰۷۲
۳	۰/۹۹۶	۱۴/۲۳۴	۸۱/۳۰۹

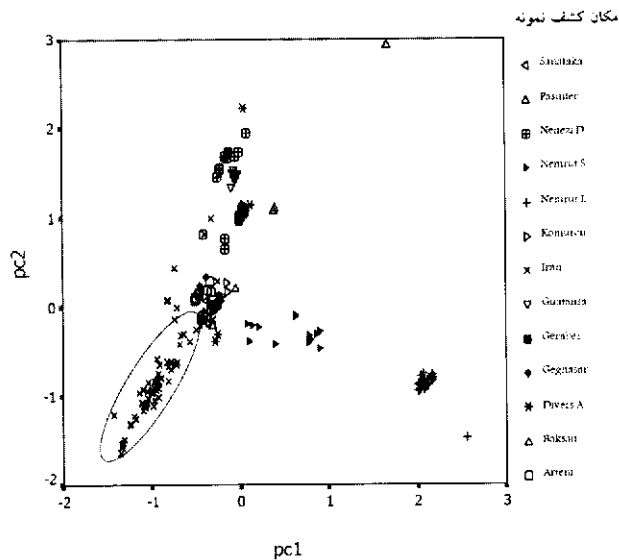
شکل ۳. نتایج مربوط بویژه مقادیر و واریانس مولفه‌های اصلی به دست آمده از تجزیه فاکتوری.

Fig. 2. Scores of variables for three principal components in principal component analysis.





شکل ۵. در این شکل مقادیر دو مؤلفه اصلی ۱ و ۳ رسم شده است.
Fig. 5. Plot of principal components scores 1 and 3.



شکل ۴. در این شکل مقادیر دو مؤلفه اصلی ۱ و ۲ رسم شده است.
Fig. 4. Plot of the first two principal component scores.

تجزیه عنصری نمونه‌ها، اطلاعات زیادی به دست می‌آید. یکی از مفیدترین اطلاعاتی که در تعیین منشأ اسیدن می‌توان از آن استفاده کرد، داده‌های مربوط به مؤلفه‌های اصلی است. نتایج مربوط به ویژه مقادیر و واریانس مؤلفه‌های اصلی به دست آمده از تجزیه فاکتوری در شکل ۳ ارائه شده است.

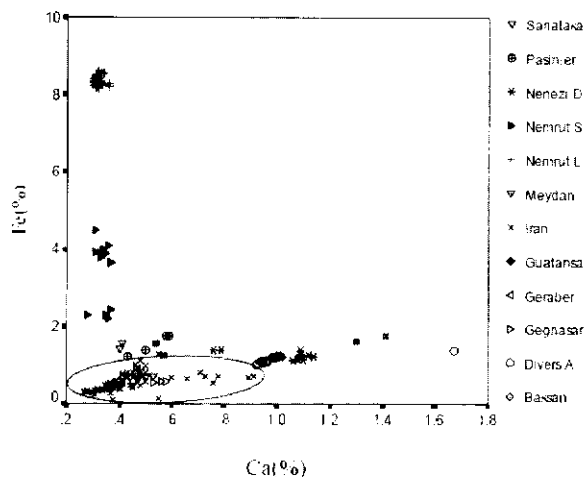
سه مؤلفه اصلی به دست آمده در تجزیه فاکتوری را به ترتیب $pc1$ ، $pc2$ و $pc3$ می‌نامند. فاکتور اصلی اول یا $pc1$ دارای ویژه مقدار $3/45$ و واریانس $49/35\%$ می‌باشد که مؤثرترین فاکتور در تحلیل آماری است. فاکتور اصلی دوم یا $pc2$ دارای ویژه مقدار $1/24$ و واریانس $17/7\%$ است که دومین فاکتور از لحاظ اهمیت در این تجزیه به شمار می‌آید. فاکتور اصلی سوم یا $pc3$ نیز دارای ویژه مقدار $0/99$ و واریانس $14/2\%$ است. این سه فاکتور در کل $81/3\%$ از مجموع واریانس‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. به بیان دیگر بیش از 80% از اطلاعاتی که هفت متغیر واقعی شرکت کننده در تجزیه فاکتوری در برداشتند، توسط این سه متغیر پنهان (سه مؤلفه اصلی) حفظ شده است.

در شکل ۴، مقادیر دو مؤلفه اصلی ۱ و ۲ که بیشترین اطلاعات آماری نمونه‌های شرکت داده شده در تحلیل آماری را در بر دارند، رسم شده است. همان‌گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود، تمام نمونه‌های تجزیه شده در این تحقیق که مربوط به ایران هستند از بقیه نمونه‌ها که مربوط به مناطق آناتولی و قفقاز هستند، جدا شده‌اند و در یک گروه مستقل که با بیضی نشان داده شده، قرار گرفته‌اند. این نتیجه نشان می‌دهد منشأ این نمونه‌ها با نمونه‌های دیگر مناطق مجاور تفاوت دارد. همچنین نتایج حاصل از تجزیه فاکتوری برای مقادیر دو مؤلفه اصلی ۱ و ۳ نیز در شکل ۵ رسم شده است. در این شکل نیز کاملاً مشخص است که نمونه‌های مربوط به ایران در یک

نتایج و بررسی‌ها

در این پژوهش ۶۸ نمونه از اسیدین‌های کشف شده از محوطه نادرته انتخاب و با استفاده از روش پیکسی تجزیه شدند. در تصویر ۱ چند مورد از نمونه‌های تجزیه شده نشان داده شده است (فرشی جلالی ۱۳۸۴). در شکل ۱، طیف به دست آمده از تجزیه پیکسی یک نمونه تجزیه شده را نشان داده‌ایم. در این طیف عناصر موجود در این نمونه مشخص شده‌اند. با تجزیه پیکسی برای تمام نمونه‌ها، طیفی مشابه با طیف نمایش داده شده در شکل ۱ به دست می‌آید. بعد از تجزیه، از طیف‌های به دست آمده، با استفاده از نرم‌افزار GUPIX غلظت عناصر تشکیل دهنده هر یک از نمونه‌ها محاسبه شده است. با استفاده از تجزیه پیکسی، ۱۰ عنصر در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد که برخی از عناصر مانند Zr، S، Cl و Rb تنها در برخی از نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند که در تحلیل آماری نمونه‌ها از آنها استفاده نشده است. عناصری که در تحلیل آماری استفاده شده‌اند، عبارت‌اند از: Ca، Si، K، Ti، Fe، Mn، Al. غلظت عناصری که در تحلیل آماری از آنها استفاده شده است بر حسب درصد، وارد نرم‌افزار SPSS شده است. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، در این تحقیق از «تجزیه فاکتوری» برای پیش‌بینی عضویت طبقه‌ای نمونه‌ها استفاده شده است. همان‌طور که در جغرافیای انتخاب نمونه اشاره شد، نمونه‌های تجزیه شده در این پژوهش تنها از یک منطقه انتخاب شده است و چون هدف از تجزیه نمونه‌ها مقایسه این مکان (نادرته در ایران) با مکان‌های مجاور و همسایه مانند آناتولی و قفقاز است، بنابراین برای مقایسه نتایج از نتایج گزارش شده در مرجع که مربوط به این مناطق است، استفاده شده است (Poidevin 1998). با انجام تجزیه فاکتوری بر روی غلظت‌های عنصری به دست آمده از





شکل ۷. در این شکل همبستگی دو عنصر کلسیم و آهن رسم شده است. جدا شدن نمونه‌های مختلف از یکدیگر بر اساس محل کشف آنها کاملاً مشخص است.

Fig. 7. Plot of correlation of Fe and Ca. Plot of this two elements showing separation of samples according to their origin.

مقایسه استفاده شده است. همانطور که در شکل ۷ دیده می‌شود، نمونه‌های تجزیه شده از ایران بر اساس همبستگی بین دو عنصر کلسیم و آهن از یکدیگر جدا شده‌اند. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود تنها نمونه‌های مربوط به یک مکان که برای مقایسه در تحلیل آماری شرکت کرده‌اند با نمونه‌های مربوط به ایران مشترک و همپوشانی دارند. بنابراین وجود این ارتباط نیز نشان‌دهنده این مطلب است که نمونه‌های تجزیه شده از ایران متعلق به یک منبع اسیبدین هستند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده که در بالا ارائه شد، مشخص است که با تلفیق تجزیه عنصری به‌دست آمده از اسیبدین‌های مناطق مختلف با تحلیل‌های آماری می‌توان به نتایجی درباره منشأ این اسیبدین‌ها دست یافت. در این آزمایش مشخص شد که نمونه‌های تجزیه شده از کل تپه که ۳۸ درصد از کل نمونه‌های جمع‌آوری شده از سطح تپه است (فرشی جلالی ۱۳۸۴)، همگی در یک گروه واحد قرار می‌گیرند و در واقع می‌توان چنین نتیجه گرفت که به احتمال قوی دست‌ساخته‌های اسیبدینی نادر تپه فقط از یک منبع اسیبدین تأمین شده‌اند. این نتایج بر اساس مقایسه نتایج به‌دست آمده از تجزیه عنصری اسیبدین‌های به‌دست آمده از نادر تپه در ایران و داده‌هایی از آناتولی مرکزی، شمال شرقی آناتولی، شمال قفقاز و ارمنستان به‌دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های هیچ یک از مناطق بالا با نمونه‌های نادر تپه در یک گروه قرار نمی‌گیرد. به عبارت دیگر، منابع تأمین‌کننده اسیبدین ایران فقط منابع شناخته شده آناتولی و یا ارمنستان نیست، بلکه ممکن است در درون مرزهای

متغیرهای شرکت کننده در تحلیل آماری	مؤلفه اصلی اول (pc1)	مؤلفه اصلی دوم (pc2)	مؤلفه اصلی سوم (pc3)
Al	-۰/۹۰۶	۰/۳۳۰	۰/۳۷۹
Si	-۰/۸۳۰	-۰/۳۸۴	۰/۱۴۲
K	۰/۳۵۳	۰/۲۸۳	-۰/۶۰۱
Ca	-۰/۱۷۶	۰/۸۹۸	۰/۷۳۸
Ti	۰/۹۵۷	-۰/۱۲۶	۰/۴۳۱
Mn	۰/۱۸۳	۰/۲۵۹	۰/۷۹۸
Fe	۰/۹۵۶	-۰/۲۴۴	-۰/۱۵۱

شکل ۶. نتایج مربوط به امتیاز هر یک از متغیرهای شرکت کننده در تجزیه آماری در هریک از سه مؤلفه اصلی.

Fig. 6. Scores of variables for three principal components in principal component analysis.

گروه مستقل و جدا از دیگر مکان‌های مجاور که با بیضی نشان داده شده است، قرار دارند که دوباره نشان‌دهنده این مطلب است که این نمونه‌ها از لحاظ مکان پیدایش جدا از دیگر نمونه‌ها هستند. تجزیه آماری نمونه‌های اسیبدین بر اساس این فرض اساسی است که نمونه‌های هر منطقه از لحاظ ترکیبات شیمیایی عناصر دارای غلظت منحصر به خود بوده و غلظت این عناصر تا حد قابل قبولی در کل آن منبع یکسان است. بنابراین این نتایج نشان می‌دهد که تمام نمونه‌های مربوط به ایران در یک گروه واحد قرار می‌گیرند و دیگر منابع اسیبدینی که به لحاظ ترکیبات شیمیایی از این نمونه‌ها متمایز هستند در گروه‌های جداگانه‌ای قرار می‌گیرند. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که همه نمونه‌های تجزیه شده از ایران متعلق به یک منبع اسیبدین هستند و ساکنان نادر تپه اصلاندوز اسیبدین مورد نیاز خود را از منبعی متفاوت از نمونه‌های مربوط به آناتولی و قفقاز تأمین می‌کرده‌اند.

یکی دیگر از اطلاعات مهمی که با استفاده تجزیه فاکتوری به‌دست می‌آید، امتیاز هر یک از متغیرهای شرکت کننده (عناصر موجود در نمونه که در تحلیل آماری شرکت داشته‌اند) در تجزیه آماری برای هریک از مؤلفه‌های اصلی است. این نتایج در شکل ۶ ارائه شده است. هرچه امتیاز عناصر شرکت داده شده در تحلیل آماری بیشتر باشد، آن عنصر نقش بیشتری در تحلیل آماری دارد. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص شده است، عناصر تیتانیوم و آهن مهم‌ترین عناصر در مؤلفه اصلی اول، عنصر کلسیم مهم‌ترین عنصر در مؤلفه اصلی دوم و عنصر منگنز مهم‌ترین عنصر در مؤلفه اصلی سوم هستند. اهمیتی که این عناصر مهم در تحلیل آماری دارند این است که از این عناصر نیز می‌توانیم برای طبقه‌بندی نمونه‌ها استفاده کنیم و امکان بهره‌گیری از آن برای تفکیک اسیبدین‌ها از یکدیگر وجود دارد. در شکل ۷، همبستگی غلظت‌های عناصر کلسیم و آهن برای نمونه‌های مورد آزمایش و نمونه‌هایی دیده می‌شود که برای



ایران نیز منابعی برای بهره‌برداری وجود داشته باشد. به کمک تجزیه نمونه‌ها با روش فعال‌سازی نوترونی می‌توان عناصر کم‌مقداری که با روش تجزیه پیکسی آشکار نشده است، اندازه‌گیری کرد و تحلیل آماری را با دقت بیشتری انجام داد.

سیاسگزاری

لازم است که در پایان از آقای دکتر سیدعلی موسوی بهبهانی، رییس

بخش فیزیک هسته‌ای و همچنین تکنیسین‌های آزمایشگاه واندوگراف آقایان بیژن موحد، محمد فرم‌مینی، فراهانی و محمود مرادی که در طول انجام آزمایش‌ها کمال همکاری را با ما داشته‌اند و همچنین آقای میرروح‌الله محمدی که نمونه‌ها را در اختیار ما قرار دادند و آقای رضا کیانی که از نمونه‌ها عکاسی کردند، تشکر و قدردانی کنیم.

کتابنامه

- قاسمی، احد
۱۳۷۷ معان نگین آذربایجان، جلد اول، تهران، ناشر: مؤلف، چاپ اول.
کارگر، بهمن
۱۳۷۴ بررسی و گمانه‌زنی در اهرنجان وقره تپه دشت سلماس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه باستان‌شناسی دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران (منتشر نشده).
محمدی، میر روح‌الله
۱۳۸۳ دوره اشکانی و ساسانی در دشت مغان براساس بررسی روشمند نادر تپه (نادر تپه‌سی) اصلاندوز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه باستان‌شناسی دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران (منتشر نشده).
- Abdi, K.,
2004 "Obsidian in Iran from The Epipalcolithic Period To The Bronze Age" In *Persiens Annike Pracht: Brgbau-Handwerk-Archeologie*. Th. Stoellner, R. Slotta, and R. Vatandoust, eds. Catalogue published in conjunction with an exhibit in Deutsches Bergbau-Museum, Bochum, 28 November 2004 to 29 May 2005, pp. 148-153.
- Bird, J. R. and Williams, J.S.,
1989 *Ion Beam For Materials Analysis*. Academic Press Australia.
- Burney, C. A.,
1962 "The Excavation at Yanik Tepe, Azerbaijan 1961 Second Preliminary Report", *Iraq*, Vol. 24, p.134.
- Cauvin, M.-C., Gourgaud, A., Gratuze, B., Arnaud, N., Poupeau, G., Poidevin, J.-L. & Chataigner, C.,
1998 (eds.) "L'obsidienne au Proche et Moyen Orient: Du volcan à l'outil" *BAR International Series* 738, Oxford.
- Constantinescu, Bugoi, R., Sziki, G.,
2002 *Nucl. Instr. Meth.*, B189, pp. 373.
- Glascok, M. D.,
2002 "Obsidian Provenance Research in The Americas" *Acc. Chem. Res.* 35, pp. 61-617.
- Jolliffe, I. T.,
1986 "Principal Component Analysis", Springer-Verlag, New York
- Johansson, E. S.,
1995 "Particle Induced X-Ray Emission Spectrometry (PIXE)" John Wiley and Sons Inc.
- Ludovic Bellot-Gurlt et al.
2005 *Nucl. Instr. Meth.*, B 240, p. 583.
- Maxwell, J.A. L.A.Campbell, W.Teesdle,
1989 *Nucl. Instr. And Meth. B* 43, p. 218.
- Poidevin, J. L.
1998 "Les gisement d'obsidienne de Turque et de Transcaucasie: géologie, géochimie et chronométrie". In: Cauvin et al. 1998, pp. 105-203.
- SPSS for Windows Release 10.05 Standard Version, ©SPSS Inc., (1989).
- Voigt, M.,
1983 *Hajji Firuz Tepe, IRAN: The Neolithic Settlement*, The University Museum University of Pennsylvania.

ب) غیر فارسی

