Archive of SID

مطالعهٔ آماری سکه‌های نقره هخامنشی، اشکانی و ساسانی با استفاده از آنالیز عنصری به روش پیکسی

پروین اولیایی*
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کاربرد پرتوها دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر
حسین آفریده
استاد دانشکدهٔ فیزیک و مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر
داوود آقا علی گل
کارشناس ارشد پژوهشکدهٔ فیزیک و شتابگرها

(از ص ۱۷ تا ۲۸)
تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۰۴/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش قطعی:۹۳/۰۹/۱۵

چکیده
در این پژوهش ۲۷ سکهٔ نقرهٔ هخامنشی، ۶۲ سکهٔ نقرهٔ اشکانی، ۶۶ سکهٔ ساسانی آنالیز و بررسی شده است. سکه‌های نقرهٔ هخامنشی و بیست سکهٔ اشکانی متعلق به موزهٔ ملی ایران، ۴۶ سکه اشکانی متعلق به موزهٔ تماشاگه پول و سکه‌های ساسانی به مجموعه‌دار خصوصی تعلق دارند. با استفاده از روش آنالیز پیکسی، مقدار غلظت عناصر موجود در سکه‌ها اندازه‌گیری شده است. سپس با استفاده از آنالیز آماری بر روی مقدار غلظت عناصر به دست آمده، نمونه‌ها با استفاده از آنالیز فاکتوری بررسی شده‌اند. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که سکه‌های نقرهٔ هخامنشی و ساسانی بر اساس نسبت مس به نقره، سرب به نقره و طلا به نقره قابل شناسایی و تفکیک هستند. همچنین این بررسی‌ها نشان می‌دهد که نسبت تغییرات مس به نقره (Cu/Ag) در دورهٔ هخامنشی بسیار کم و در دورهٔ اشکانی زیاد است.

واژه‌های کلیدی: سکه‌های نقره، روش پیکسی، آنالیز آماری، آنالیز عنصری

* نشانی پست الکترونیکی نویسندهٔ مسئول: ***poliaiy@aeoi.org.ir***

www.SID.ir

Archive of SID

۱ـ مقدمه

از مطالعه و بررسی سکه‌های قدیمی می‌توان اطلاعات مفیدی در زمینهٔ ثبات اقتصادی و وضعیت سیاسی و همچنین نوع فناوری مورد استفاده در استخراج و ضرب سکه در حکومت‌های مختلف به‌دست آورد. در دورهٔ هخامنشی سکه‌های طلا و نقره ضرب می‌شد. سکه‌های اشکانیان فقط از نقره یا مس بوده و در زمان آن‌ها پول و طلا تنها از راه تجارت به ایران وارد می‌شده است (وثیق، ۳۲،۱۳۸۷). سکه‌های ساسانی از طلا، نقره، برنز و آلیاژی از قلع و سرب ضرب می‌شده‌اند؛ بنابراین، در این پژوهش سکه‌های نقره ملاک مقایسه قرار گرفتند؛ زیرا در هر سه دورهٔ تاریخی سکهٔ نقره ضرب می‌شده است.

بر اساس اسناد تاریخی در دوران مختلف پادشاهی، حکومت‌های مرکزی و همچنین برخی حکمرانان و فرمانروایان محلی سکه‌های طلا و نقره ضرب می‌کرده‌اند. همچنین وضعیت اقتصادی کشور متناسب با شرایط اقلیمی و قدرت سیاسی حکمرانان متغیر بوده و درآمد هر حکومت با قدرت سیاسی ارتباط داشته است؛ بنابراین، به نظر می‌رسد عیار سکه‌های ضرب شده با قدرت سیاسی و اقتصادی حکمرانان مرکزی و فرمانروایان محلی ارتباط داشته باشد. با مطالعه دربارهٔ عیار سکه‌های ضرب شده در حکومت‌های مختلف، می‌توان به صورت جامع‌تری به وضعیت مالی و قدرت یا ضعف حکومت‌ها پی برد.

بررسی سکه‌های قدیمی ایرانی همواره مورد توجه پژوهشگران و باستان‌شناسان داخلی و خارجی بوده است. پژوهشگران خارجی نخستین تحقیقات را دربارهٔ عیار سکه‌های هخامنشی، اشکانی و ساسانی انجام داده‌اند (Caley, 1955; Gordus, 1972). در ایران در گذشته و سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای بر روی سکه‌های نقرهٔ ساسانی، اشکانی و ایلخانی انجام شده است (Masjedi Khak et al. 2013; Sodaei et al. 2013(a); Neyestani et al. 2014).

در پژوهشی که اولیایی و همکاران با استفاده از آنالیز پیکسی بر روی سکه‌های اشکانی انجام داده‌اند، مشخص شده است که مقدار تغییر عیار سکه‌های نقره متناسب با شرایط سیاسی و اقتصادی هر پادشاه بوده است (Oliaiy,1999). در تحقیق دیگری که حاجی ولیئی و همکاران بر روی سی سکهٔ نقرهٔ ساسانی مربوط به دوران حکومت خسرو پرویز با استفاده از روش آنالیز پیکسی انجام داده‌اند، به این نتیجه رسیده‌اند که کیفیت و عیار سکه‌ها متناسب با موقعیت سیاسی زمان ضرب سکه‌ها و مکان جغرافیایی آن تغییر کرده است (Hagivalie, 2008). همچنین خادمی و همکاران با استفاده از روش آنالیز XRF ترکیبات شیمیایی سکه‌های نقرهٔ دوران اشکانی را مطالعه و معادن و کارگاه‌های مورد استفاده در ضرب سکه‌ها را شناسایی کرده و نتیجه گرفته‌اند که نسبت طلا به نقره معرف خوبی برای فناوری استخراج سنگ نقره است. همچنین از این نسبت می‌توان به عنوان عاملی برای شناسایی معادن نقره استفاده کرد (خادمی ندوشن،۸۷،۱۳۹۰). سودایی و دیگران نیز دربارهٔ آنالیز عنصری سکه‌های نقرهٔ ساسانی به روش XRF و همچنین آنالیز سکه‌های اشکانی به روش پیکسی تحقیقاتی انجام داده‌اند (Sodaei et al. 2013 (b,c)). مرور و بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که تقریباً کلیهٔ این پژوهش‌ها بر آنالیز عنصری یک دورهٔ خاص تأکید داشته‌اند و تاکنون تحقیقات اساسی و مدونی برای مقایسهٔ دوره‌های مختلف تاریخی به صورت گسترده انجام نشده است.

روش‌های آنالیز عنصری مختلفی برای اندازه‌گیری غلظت عناصر موجود در نمونه‌های باستانی استفاده می‌شود. برخی از این روش‌ها مانند XRF[۱]، NAA[۲]، SEM[۳] و PIXE[۴] غیر مخرب هستند که برای نمونه‌های

www.SID.ir

Archive of SID

باستانی، با توجه به اهمیت حفظ اصالت نمونه، کاربرد بسیار زیادی دارند و همچنین روش‌هایی مانند تجزیهٔ شیمیایی که روش‌های مخربی برای نمونه‌ها هستند، در برخی از موارد استفاده می‌شوند. روش‌های مکمل مانند متالوگرافی (Metallography) و[۵] XRD نیز برای بررسی روش‌های ساخت و بررسی ساختار فیزیکی به کار می‌روند.

در این کار پژوهشی آنالیز عنصری نمونه‌ها با استفاده از روش پیکسی با استفاده از شتاب‌دهندهٔ واندوگراف پژوهشکدهٔ فیزیک و شتابگرها انجام شده است. پیکسی یا گسیل پرتو X بر اثر تابش پروتون، روشی بسیار توانمند برای آنالیز نمونه‌های باستان‌شناسی است؛ زیرا روشی غیر مخرب است و در مدت‌زمان بسیار کوتاهی (۳ تا ۵ دقیقه) می‌توان تمام عناصر جدول تناوبی بالاتر از سدیم را در نمونهٔ مورد آنالیز اندازه‌گیری کرد (Johansson, 1995, 7-17). در این روش آنالیز، نمونهٔ مورد بررسی تحت تابش پروتون قرار می‌گیرد. در اثر برخورد پروتون با الکترون‌های اتم‌های هدف، پرتو X مشخصه‌ای گسیل می‌شود که انرژی پرتو X، نوع عنصر حاضر در نمونه و تعداد پرتوهای X با انرژی معین، غلظت عنصر موجود در نمونه را مشخص می‌کند. دقت و حساسیت این روش آنالیز بنا بر نوع عنصر ppm ۱۰۰-۱۰ است.

۲ـ هدف تحقیق

هدف از این پژوهش این است که نحوه و میزان ارتباط ضرب سکه‌های نقره را با شرایط اقتصادی و سیاسی در دوران مختلف روشن کند. بر این اساس، با استفاده از آنالیز عنصری و تحلیل آماری، ارتباط بین عیار و خلوص سکه‌های نقرهٔ دوران مختلف هخامنشی، اشکانی و ساسانی را با شرایط اقتصادی و فرهنگی جستجو کرده‌ایم.

۳ـ مشخصات نمونه‌ها

مشخصات نمونه‌ها و دوره‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات نمونه‌ها و دوره‌های مورد مطالعه

مشخصات نمونه / دورهٔ تاریخی	تعداد نمونه	تاریخ ضرب	وزن (گرم)
هخامنشی	۲۷	۵۲۲ -۴۸۶ ق.م	۵/۴-۱۰/۷۵
اشکانی	۶۲	۲۴۷ ق.م تا ۲۲۴ ب.م	۴-۶/۳
ساسانی	۶۶	۲۲۴ تا ۶۵۱ ب.م	۳/۶۵-۳/۹۴

همچنین اطلاعات مربوط به دورهٔ ضرب سکه و پادشاهان مربوط، در جدول ۲ آمده است. در جدول ۲ موزهٔ ملی ایران اطلاعات خاصی دربارهٔ پادشاهان مربوط به سکه‌های هخامنشی نداده است. در این پژوهش سکه‌های هخامنشیِ مورد آزمایش، کسری از سیگلس بودند که تنها تصویر سر کمان‌دار پارسی بر روی سکه‌ها درج شده بود و بنا بر اعتقاد برخی از کارشناسان تفاوت ظاهری در چهرهٔ کمان‌دار را نمی‌توان ملاک دقیقی برای تعیین نام پادشاه و سال ضرب سکه‌ها دانست. از سوی دیگر، گروهی از کارشناسان اعتقاد دارند سکه‌های کامل هخامنشی را بر پایهٔ چگونگی به تصویر کشیدن کمان‌دار پارسی می‌توان به چهار نوع تقسیم کرد، ولی در تخصیص هر گروه به شاهان نیز اختلاف‌نظر وجود دارد (رضایی باغ‌بیدی، ۶،۱۳۹۱).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- اطلاعات مربوط به نام پادشاه و تعداد سکه‌های ضرب شده بر حسب دورهٔ تاریخی

تعداد سکه‌ها	نام پادشاه	دورهٔ تاریخی
۲۷	نامشخص	هخامنشی
۳	ارشک اول	اشکانی
۱	ارشک دوم	
۱	فریاپت	
۵	مهرداد اول	
۶	فرهاد دوم	
۳	اردوان اول	
۵	مهرداد دوم	
۴	مهرداد سوم	
۸	فرهاد چهارم	
۱	تیرداد اول	
۸	فرهاد پنجم	
۱	وردان	
۳	بلاش اول	
۱	پاکورس دوم	
۱	مهرداد چهارم	
۲	بلاش پنجم	
۱۰	ارد دوم	
۱۲	پیروز	ساسانی
۱	بلاش	
۸	قباد	
۳۳	خسرو	
۸	خسرو دوم	
۱	هرمز چهارم	
۲	اردشیر سوم	
۱	یزدگرد سوم	

در این مطالعه تعداد ۲۷ سکهٔ نقره دورهٔ هخامنشی، ۶۲ سکهٔ نقرهٔ دورهٔ اشکانی، ۶۶ سکهٔ نقرهٔ دورهٔ ساسانی برای اندازه‌گیری غلظت عنصری با استفاده از روش آنالیز پیکسی انتخاب شده است. سکه‌های نقرهٔ هخامنشی و بیست سکهٔ اشکانی متعلق به موزهٔ ملی ایران، ۴۶ سکهٔ اشکانی متعلق به موزهٔ تماشاگه پول و سکه‌های ساسانی به مجموعه‌دار خصوصی تعلق دارند.

تصاویر برخی از نمونه‌های آنالیز شده از هر دورهٔ تاریخی در شکل ۱ نشان داده شده است.

هخامنشی	اشکانی	ساسانی

شکل ۱- تصاویر مربوط به پشت و روی سکه‌های هخامنشی، اشکانی و ساسانی

www.SID.ir

Archive of SID

۴ـ روش آزمایش

ابتدا سکه‌ها را با الکل و استون تمیز کردیم و سپس درون اتاقک آزمایش قرار دادیم. این اتاقک به کمک دو پمپ مکانیکی و دیفیوژن به خلأ ۲×۱۰^{-۵} Torr می‌رسد. برای اندازه‌گیری غلظت عنصری نمونه‌ها از باریکهٔ پروتون با انرژی ۲ MeV و جریان حدود ۲-۳ نانوآمپر استفاده شد. باریکهٔ پروتون مورد نیاز توسط شتاب‌دهندهٔ واندوگراف ۳ MV موجود در پژوهشکدهٔ فیزیک و شتابگرها تولید شده است. انرژی‌پرتوهای ایکس، با آشکارساز Si(Li) اندازه‌گیری شدند که در زاویهٔ ۱۳۵ درجه نسبت به باریکهٔ فرودی قرارگرفته بود و سپس سیستم چند کانالی، طیف به دست آمده را نمایش داد. قدرت تفکیک آشکارساز Si(Li)، ۱۷۰ الکترون ولت برای Fe(Kα) بود. برای اندازه‌گیری کمّی عناصر تشکیل دهندهٔ نمونه‌ها از نرم‌افزار GUPIX استفاده شد (Maxwell,1989).

برای کاهش تعداد پرتوهای ایکس کم‌انرژی حاصل از عناصر سبک، به منظور آشکار شدن بهتر عناصر سنگین، از یک فانی فیلتر (فیلتر خندان) از جنس مایلار و با ضخامت ۱۷۵ میکرون استفاده شد. همچنین برای کالیبراسیون اندازه‌گیری غلظت عناصر موجود، از یک سکهٔ یورو (€)، به عنوان نمونهٔ استاندارد استفاده شد که دارای ۲۴/۸٪ نیکل، ۷۴/۵۹٪ مس، ۰/۲۷٪ منگنز و ۰/۰۹٪ آهن و همچنین شامل ۰/۰۵٪ کلسیم و ۰/۱۹٪ کلر بود که از آلودگی سطحی سکه ناشی می‌شد. خطای اندازه‌گیری روش پیکسی به طور متوسط حدود ۵٪ است.

۵ـ تحلیل آماری

با استفاده از آنالیز پیکسی می‌توان غلظت عناصر Ag, Au, Pb, Zn, Al ,S, Cl, Ca, Ti , Mn, Fe و Cu را در سکه‌ها با دقت چند ppm اندازه‌گیری کرد. اگرچه با بررسی ساده، شاید بتوان نمونه‌هایی را که از لحاظ ترکیب عنصری تفاوت فاحشی با یکدیگر دارند تشخیص داد، با توجه به تعداد زیاد نمونه‌های مورد آنالیز، امکان بررسی و مقایسهٔ کامل سکه‌های دوره‌های مختلف، بدون استفاده از روش‌های تحلیل آماری تقریباً ناممکن است.

با استفاده از آزمون آماری مناسب می‌توان نتایج به دست آمده از آنالیز عنصری نمونه‌ها را تحلیل کرد. هدف از آنالیز آماری این داده‌ها بررسی و شناسایی گروه‌هایی از نمونه‌هاست که از لحاظ ترکیب عنصری شباهت زیادی با هم دارند؛ بنابراین، یکی از مهم‌ترین روش‌های آماری که در بررسی اشیاء باستانی مانند سکه، ابسیدین و شیشه از آن استفاده می‌شود، «آنالیز فاکتوری» است. یکی از شیوه‌های آنالیز فاکتوری، «آنالیز اجزای اصلی» است که به آن روش PCA گفته می‌شود (Jolliffee, 1986) . در این روش، نتایج حاصل از تحلیل آماری نمونه‌ها، معمولاً در یک دستگاه مختصات دو یا سه بعدی رسم می‌شود که هر محور یکی از اجزای اصلی است که در آنالیز فاکتوری به دست 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 تشابه آن‌ها با یکدیگر تلقی می‌شود. تحلیل‌های آماری در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۶ـ بحث و بررسی نتایج

در این پژوهش تعداد ۲۷ سکهٔ نقرهٔ دورهٔ هخامنشی،۶۲ سکه نقرهٔ دورهٔ اشکانی و ۶۶ سکهٔ نقرهٔ دورهٔ ساسانی برای اندازه‌گیری غلظت عنصری با استفاده از روش آنالیز پیکسی انتخاب شده است. با استفاده از این روش می‌توان عناصر آلومینیوم (Al)، گوگرد (S)، کلر (Cl)، کلسیوم (Ca)، تیتانیوم (Ti)، منگنز (Mn)، آهن (Fe)، مس (Cu)، روی (Zn)، نقره (Ag)، سرب (Pb) و طلا (Au) را در سکه‌ها اندازه‌گیری کرد.

با توجه به این که سکه‌ها در مجاورت خاک قرار داشته‌اند، عناصر غیرفلزی موجود در آن‌ها از آلودگی سطحی و یا خوردگی سکه‌ها ناشی می‌شود؛ بنابراین، برای آنالیز آماری سکه‌های متعلق به دوره‌های مختلف، در این پژوهش مقادیر غلظت عناصر فلزی Ag ، Au ،Pb و Cu استفاده شده است. غلظت این عناصر بر حسب درصد به نرم‌افزار SPSS داده شد.

با توجه به فناوری ضرب سکه‌ها و نوع کانی مورد استفاده و یا مکان ضرب آن‌ها، نمونه‌های هر دورهٔ تاریخی بر اساس ترکیبات شیمیایی سکه‌ها، از نظر آماری بررسی شدند. فرض مورد استفاده در تفسیر نتایج آنالیز آماری نمونه‌ها این است که نمونه‌های ضرب شده در یک مکان و با یک فناوری خاص، اصولاً باید دارای غلظت منحصربه‌فرد و تقریباً یکسانی باشد. در آنالیز فاکتوری، امتیاز هر یک از متغیرهای شرکت داده شده در آنالیز آماری، یکی از شاخص‌های مهم استخراج هر یک از مؤلفه‌های اصلی است. هرچه امتیاز متغیرهای شرکت داده شده در تحلیل آماری بیشتر باشد، آن متغیر نقش مهم‌تری در تحلیل آماری دارد. امتیاز هر یک از متغیرهای شرکت داده شده در آنالیز فاکتوری، در جدول ۳ آمده است. همان‌طور که در این جدول مشخص است، متغیر Cu/Ag و Pb/Ag مهم‌ترین متغیرها در مؤلفه اصلی اول و Pb/Au و Au/Ag مهم‌ترین متغیرها در مؤلفهٔ اصلی دوم هستند.

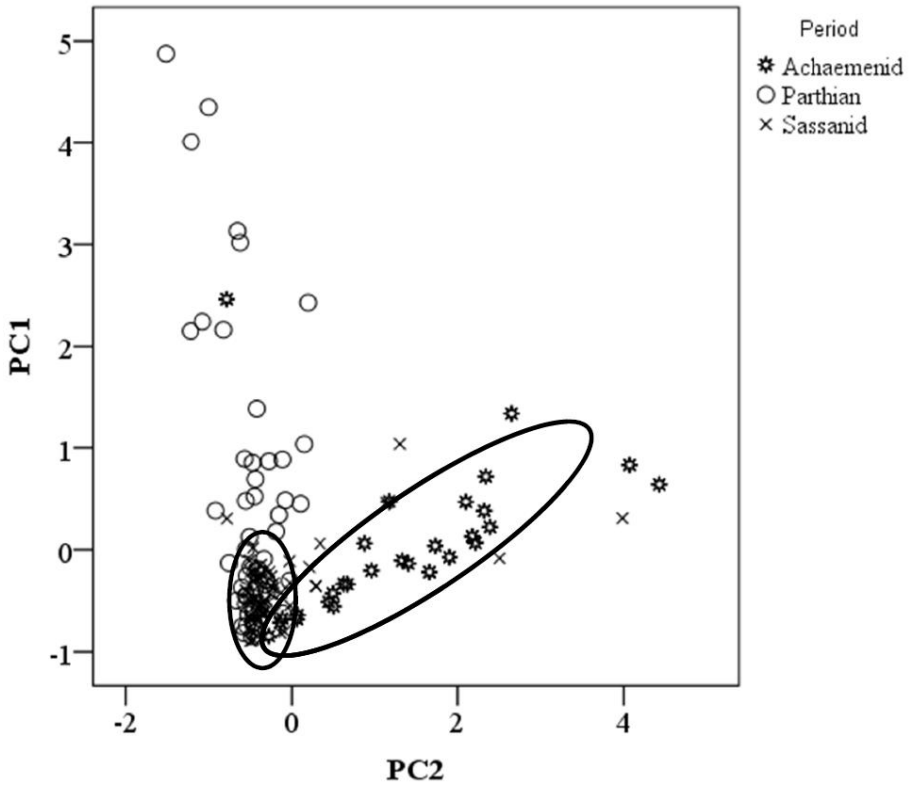
جدول ۳- نتایج مربوط به امتیاز هر یک از متغیرهای شرکت داده شده در آنالیز آماری برای هر یک از دو مؤلفهٔ اصلی

متغیرهای شرکت کننده در تحلیل آماری	مؤلفه اصلی‌اول *(pc1)*	مؤلفه اصلی‌دوم *(pc2)*
Au/Ag	۰/۲۱۸	**-۰/۵۶۷**
Cu/Ag	**۰/۹۶۵**	-۰/۲۶۲
Pb/Ag	**۰/۶۹۸**	۰/۱۵۰
Pb/Au	۰/۲۷۲	**۰/۹۶۲**

در شکل ۲ مقادیر دو مؤلفهٔ اصلی ۱ و ۲ (PC1 برحسب PC2) که بیشترین اطلاعات آماری نمونه‌های شرکت داده شده را در تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS دربر دارند، رسم شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، تمام سکه‌های آنالیز شده در این تحقیق که مربوط به دورهٔ هخامنشی هستند، کاملاً از سکه‌های دیگر جدا شده و در یک گروه قرار گرفته‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲: مقادیر دو مؤلفهٔ اصلی ۱ و۲

همچنین سکه‌های مربوط به دوره‌های ساسانی تقریباً در گروه مستقلی قرار گرفته‌اند و دارای پراکندگی بسیار کمی هستند. هر یک از این گروه‌های مستقل در شکل ۲ با بیضی نشان داده شده است. نکتهٔ قابل‌توجه این است که سکه‌های دورهٔ اشکانی در گروه واحدی توزیع نشده‌اند، بلکه دارای پراکندگی زیادی هستند و با سکه‌های دورهٔ ساسانی هم‌پوشانی دارند.

با توجه به جدول ۳ و نمودار شکل ۲ کاملاً مشخص است که مهم‌ترین عامل تفکیک و جدا شدن نمونه‌های دوره‌های هخامنشی و ساسانی، نسبت متغیرهای Cu/Ag، Pb/Ag و Pb/Au است. بررسی‌های تاریخی نشان می‌دهد که نسبت مس به نقره (Cu/Ag) کاملاً با شرایط اقتصادی حکومت‌ها ارتباط عکس دارد؛ بدین‌معنی که هر قدر وضعیت اقتصادی حکومت‌ها بهتر بوده، این نسبت در سکه‌ها کمتر بوده است؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که یکی از عوامل اصلی تفاوت سکه‌های دو دورهٔ هخامنشی و ساسانی نسبت Cu/Ag است که با نگاهی به جدول ۴ که در آن نسبت میانگین عناصر نشان داده شده است، کاملاً سازگار است و این نسبت برای سکه‌های هخامنشی کمتر از سکه‌های دورهٔ ساسانی است. همچنین با نگاهی به اسناد تاریخی می‌توان نتیجه گرفت شاخص دیگر که در بررسی فناوری ضرب سکه‌ها مهم است، نسبت سرب به نقره (Pb/Ag) و سرب به طلا (Pb/Au) است که هر قدر مقدار این نسبت کمتر باشد، می‌توان به این نتیجه رسید که فناوری بهتری برای جداسازی سرب از کانی مورد استفاده به کار گرفته می‌شده است. با توجه به شکل ۲ اگرچه سکه‌های هخامنشی از سکه‌های ساسانی و اشکانی کاملاً جدا هستند، پراکندگی نسبتاً زیادی در سکه‌های هخامنشی دیده می‌شود که ناشی از تغییرات زیاد Pb/Au است (جدول ۴) و می‌تواند معرف وجود معادن

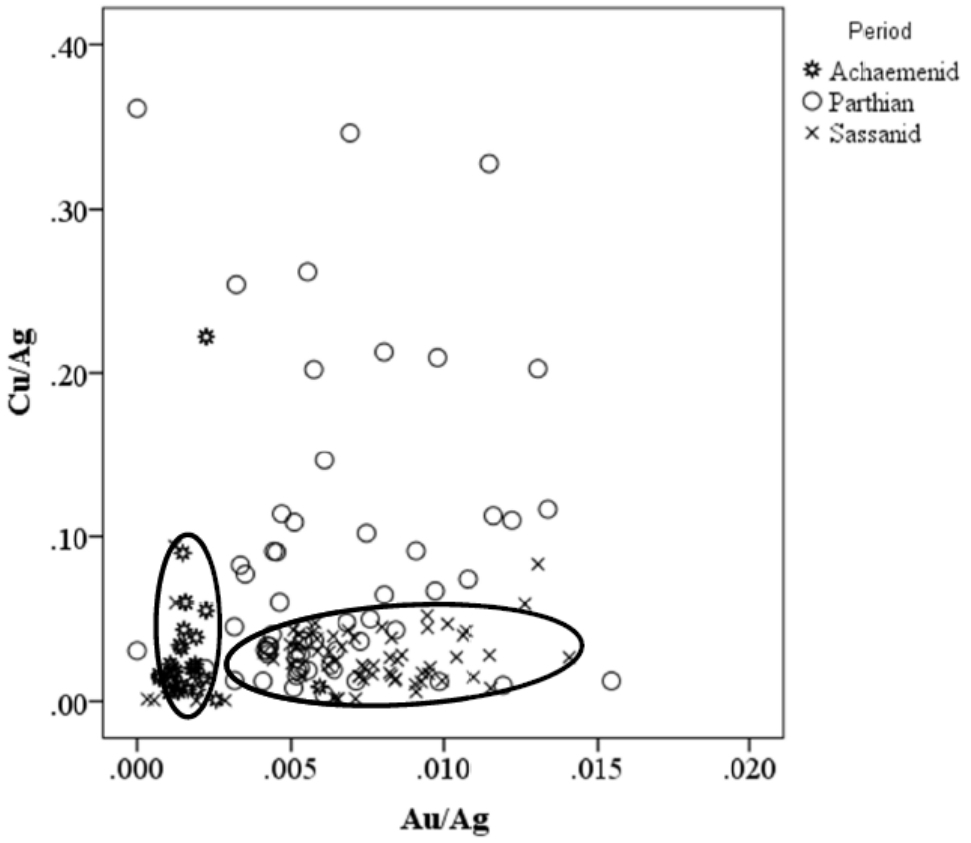
www.SID.ir

Archive of SID

گوناگون در استحصال نقره باشد یا این که فناوری به کار گرفته شده به‌گونه‌ای است که جداسازی سرب از سنگ معدن نقره به خوبی انجام نشده است؛ بنابراین، نتایج به دست آمده از آنالیز آماری انجام شده در این پژوهش کاملاً با نتایج منتشر شده در پژوهش‌های پیشین که از نسبت عنصری مس به نقره (Cu/Ag) و سرب به نقره (Pb/Ag) در تفسیر نتایج خود استفاده کرده‌اند، تطابق و هم‌خوانی دارد (Masjedi,Khak et al. 2013; Sodaei et al. 2013(c) ; Oliaiy et al. 1992; Hagivalie et al., 2008)

جدول ۴- نسبت مقدار میانگین برخی از عناصر فلزی موجود در سکه‌های دوره‌های مختلف

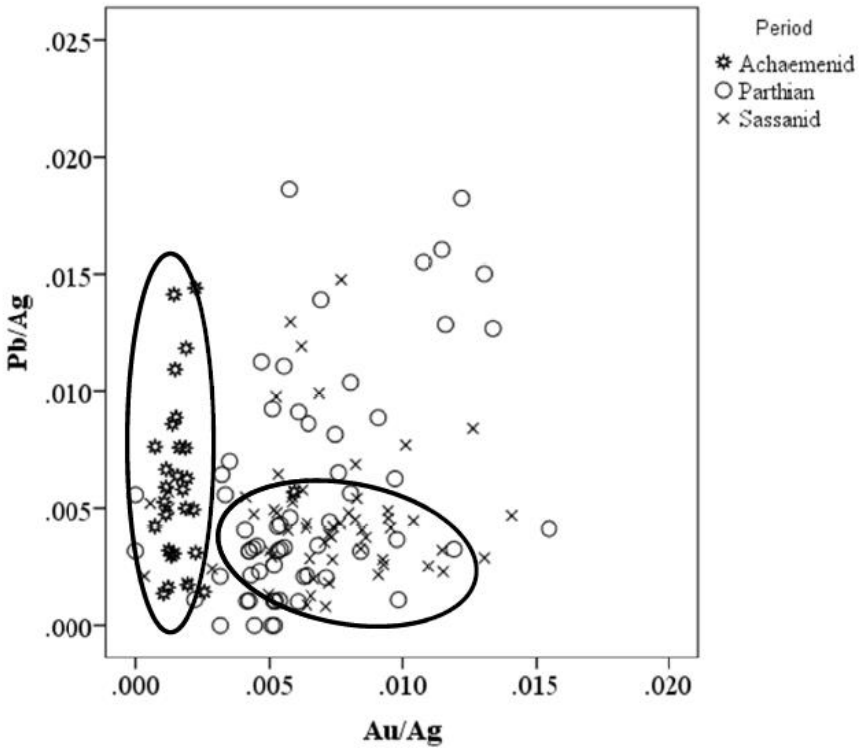
دورهٔ تاریخی	*Cu/Ag*	*Pb/Ag*	*Pb/Au*
هخامنشی	۰/۰۲۲	۰/۰۰۶	۳/۵۶
اشکانی	۰/۰۷۵	۰/۰۰۵	۰/۸۰
ساسانی	۰/۰۲۵	۰/۰۰۴	۰/۵۶



شکل ۳- تغییرات نسبت ناخالصی مس به نقره بر حسب نسبت ناخالصی طلا به نقره

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- تغییرات نسبت ناخالصی سرب به نقره بر حسب نسبت ناخالصی طلا به نقره

در شکل ۳ و ۴ می‌توان مشاهده کرد که بر حسب میزان ناخالصی مس به نقره و سرب به نقره در مقایسه با ناخالصی طلا به نقرهٔ سکه‌های مورد مطالعهٔ دوره‌های هخامنشی و ساسانی در گروه‌های مجزا قرار گرفته‌اند که با بیضی نشان داده شده است، همچنین سکه‌های دورهٔ اشکانی کاملاً پراکنده و تنوع زیادی بر حسب میزان ناخالصی مس به نقره و سرب به نقره دارند. این نتایج کاملاً با نمودار به دست آمده از آنالیز آماری نشان داده شده در شکل ۲ هم‌خوانی دارد.

در شکل ۳ کاملاً واضح است که میزان تغییرات مس به نقره برحسب تغییرات طلا به نقره در دورهٔ هخامنشی بسیار اندک است. این حقیقت می‌تواند به این علت باشد که سکه‌های ضرب شده در این دوره از تأثیر هرگونه تغییر و تحولات شدید اقتصادی دور بوده‌اند. بر اساس اسناد تاریخی در شاهنشاهی هخامنشی ضرب سکه‌های طلا و نقره مخصوص ضراب‌خانه‌های سلطنتی بوده است و امرای محلی که مورد اعتماد حکومت بودند، فقط در هنگام ضرورت و در لشکرکشی‌های محلی و بنا بر تشخیص حکومت مرکزی سکه ضرب می‌کرده‌اند؛ زیرا در دوران هخامنشی اگرچه سرزمین تحت سلطهٔ آنان بسیار گسترده بوده است، حکمرانان همواره به دنبال تشکیلاتی بودند که قوانین متمرکز و یکپارچه‌ای بر کشور حاکم باشد و سازماندهی صحیح و منظمی بر اقتصاد کل کشور وجود داشته باشد؛ بنابراین، در این دوره تغییرات بسیار اندک در عیار سکه‌ها کاملاً قابل‌توجیه است (ملک‌زاده بیانی، ۱۳۸۹، ۶۷). همچنین در شکل ۴ با توجه به این که میزان تغییرات سرب به نقره تقریباً برای اکثر نمونه‌های مورد آنالیز بسیار کم است، می‌توان نتیجه گرفت که در این دورهٔ کانی استفاده شده از یک مکان خاص استخراج شده است (رضایی باغ‌بیدی، ۱۳۹۱، ۴).

www.SID.ir

Archive of SID

در سکه‌های دورهٔ اشکانی تغییرات نسبت مس به نقره، سرب به نقره و همچنین طلا به نقره بسیار شدید است و نمونه‌های این دوره در نمودار شکل‌های ۳ و۴ کاملاً پراکنده است. یکی از دلایل اصلی این پراکندگی، دوران طولانی نزدیک به ۵ قرن حکومت اشکانی و وجود حکومت‌های ایالتی مستقل است. در این دوران، ادارهٔ کشور بر اساس حکمرانی ساتراپی‌ها و فرمانروایی‌های محلی انجام می‌گرفته و هر منطقه یا ساتراپی دستگاه مالی خاص داشته است و ساتراپ‌ها اختیار بیشتری در حوزهٔ مالی خود داشته‌اند؛ بنابراین، حیات اقتصادی کشور متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه یا ساتراپ متغیر بوده و هر منطقه طبق وضع خاصی اداره می‌شده است که با درآمد آن منطبق باشد. بر همین اساس، سکه‌های اولیهٔ دوران اشکانی که درهم است، مرتب و به تناوب در ضراب‌خانه‌های مختلف و متعدد ضرب می‌شده‌اند و هیچ‌گونه تناسبی بین فلزات موجود در سکه‌های نقره در این دورهٔ حکومتی وجود ندارد؛ در نتیجه، تنوع در عیار سکه‌های اندازه‌گیری شده و پراکندگی آن‌ها کاملاً با وجود ضراب‌خانه‌های متعدد در کشور در حدود ۵ قرن حکومت اشکانی هم‌خوانی و تطابق دارد (ملک‌زاده بیانی، ۱۳۸۹، جلد دوم، ۲۷).

دربارهٔ سکه‌های ساسانی باید گفت که برای تعداد زیادی از سکه‌ها تغییر نسبت مس به نقره در شکل ۳ اندک است. بر این اساس می‌توان نتیجه‌گرفت که در شاهنشاهی ساسانی نظارت مرکزی دقیقی بر ضرب سکه وجود داشته و دگرگونی سکه‌ها به صورت یکنواخت انجام می‌گرفته است و این موضوع، با صرف‌نظر از چند استثناء که ناشی از جنگ‌های داخلی و رکود اقتصادی در برهه‌هایی از سه دورهٔ تاریخی ساسانیان است، تأثیر سازمان مرکزی ضرب سکه و کارایی حکومت ساسانی را نشان می‌دهد (پوپ، ۱۳۸۷).

در شکل ۴ میزان تغییرات سرب به نقره تقریباً برای نمونه‌های مورد آنالیز بسیار کم است، ولی نسبت طلا به نقره تغییرات بیشتری دارد؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در دورهٔ ساسانیان فناوری تقریباً یکسانی در معادن مختلف برای ضرب سکه‌ها استفاده می‌شده است؛ زیرا بنا بر تحقیقات پیشین، میزان سرب موجود در نقره ارتباط مستقیمی با روش خالص‌سازی سنگ معدن مورد استفاده در استخراج نقره دارد. همچنین وجود عنصری مانند طلا، ارتباط مستقیمی با سنگ معدن مورد استفاده دارد.

جدول ۵- مقدار میانگین عناصر فلزی موجود در سکه‌های دوره‌های مختلف

دورهٔ تاریخی	مقدار میانگین عناصر فلزی(٪)				
	Fe	***Cu***	***Ag***	***Au***	***Pb***
هخامنشی	۰/۳۵	۲/۱۴	۹۵/۰۱	۰/۱۶	۰/۵۷
اشکانی	۰/۲۱	۶/۶۴	۸۷/۸۵	۰/۶۱	۰/۴۹
ساسانی	۰/۵۰	۲/۲۲	۸۶/۴۳	۰/۶۲	۰/۳۵

برای این که دربارهٔ میزان ناخالصی‌های هر یک از عناصر فلزی موجود در سکه‌های دوره‌های مختلف نیز بینشی کلی به دست آید، در جدول ۵ مقادیر میانگین عناصر فلزی سکه‌ها در دوره‌های مختلف برای مقایسه ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشخص است، سکه‌های دورهٔ هخامنشی بالاترین عیار نقره و

www.SID.ir

Archive of SID

کمترین میزان مس و سکه‌های دورهٔ اشکانی بالاترین میزان مس را دارند که حدود سه برابر میزان مس سکه‌های هخامنشی است.

۷ـ نتیجه

در این پژوهش غلظت عناصر فلزی سکه‌های دورهٔ هخامنشی، اشکانی و ساسانی اندازه‌گیری و با استفاده از تحلیل آماری و بر اساس نسبت ناخالصی‌های موجود در سکه‌ها بررسی و مقایسه شدند. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که سکه‌های دوره‌های مختلف تاریخی بر اساس نسبت Cu/Ag، Pb/Ag و Au/Ag قابل شناسایی و تفکیک هستند. همچنین نشان می‌دهد که نسبت تغییرات Cu/Ag ارتباط مستقیمی با شرایط ثبات اقتصادی هر دورهٔ تاریخی دارد؛ به طوری که این نسبت در دورهٔ هخامنشی بسیار کم یا به عبارتی عیار نقرهٔ سکه‌های دوره هخامنشی بسیار زیاد است (بیشتر از ۹۵٪). این نتایج با قوانین متمرکز و یکپارچه‌ای که در دوران هخامنشی بر کشور و ضرب سکه حاکم بوده و سازماندهی صحیح و منظمی که بر اقتصاد کل کشور وجود داشته است، هم‌خوانی و تطابق دارد. در مقابل از نسبت Cu/Ag می‌توان به این نتیجه رسید که سکه‌های دورهٔ اشکانی بالاترین میزان مس را دارند به طوری که حدود سه برابر میزان مس در دورهٔ هخامنشی است. یکی از دلایل اصلی عیار کم سکه‌های اشکانی، وجود بی‌انظباطی حکومت‌های محلی و سیر نزولی و انحطاطی است که در اثر اغتشاشات داخلی و نزاع بین شاهزادگان برای کسب قدرت در کشور روی داده است.

همچنین با توجه به نسبت ناخالصی سرب به نقره در دوره‌های مختلف می‌توان نتیجه گرفت که فناوری خالص‌سازی نقره در دورهٔ هخامنشی و ساسانیان بسیار پیشرفته‌تر از دورهٔ اشکانیان بوده است. علاوه بر این، با توجه به نسبت Au/Ag می‌توان به این نتیجه رسید که در دورهٔ هخامنشی سکه‌های مورد استفاده اغلب، در یک مکان و یا تحت قوانین یکپارچهٔ حکومت مرکزی ضرب می‌شده‌اند، در حالی که در دورهٔ اشکانی بر اساس حکمرانی ساتراپی‌ها و فرمانروایی‌های محلی، ساتراپ‌ها اختیار بیشتری در حوزهٔ مالی خود داشته‌اند و ساتراپ هر منطقه بر اساس شرایط خاص خود سکه ضرب می‌کرده است؛ بنابراین، تنوع در عیار سکه‌های اندازه‌گیری شده و پراکندگی آن‌ها کاملاً با وجود ضراب‌خانه‌های متعدد در کشور در حدود ۵ قرن حکومت اشکانی هم‌خوانی و تطابق دارد.

تشکّر و قدردانی

در پایان لازم است از جناب آقای دکتر محمد لامعی و همچنین سرکار خانم خدیجه باصری کارشناس موزهٔ ملی ایران که سکه‌های هخامنشی را در اختیارمان قرار دادند، تشکر و سپاسگزاری کنیم.

پی‌نوشت

1. X-Ray Fluorescence
2. Neutron Activation Analysis
3. Scanning Electron Microscopy
4. Proton Induced X-ray Emission
5. X-Ray Diffraction

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

پوپ، آرتور (۱۳۸۷)، *سیری در هنر ایران* (جلد دوم- دورهٔ ساسانی)، مترجم: نجف دریابندری، تهران، انتشارات علمی و فرهنگی.

خادمی ندوشن، فرهنگ و همکاران، «شناسایی منابع فلزی استحصال نقره برای ضرب سکه‌های اشکانی در استان ماد بزرگ با روش PIXE»، *مطالعات باستان‌شناسی*، شمارهٔ۳، ۱۳۹۰، صفحهٔ ۸۸-۷۹.

رضایی باغ‌بیدی، حسن، «پیدایی و آغاز ضرب سکه در ایران»، کتاب ماه تاریخ و جغرافیا، شمارهٔ ۱۷۸،۱۳۹۱، صفحه ۹-۲.

ملک‌زاده بیانی، ملکه (۱۳۸۹)، *تاریخ سکه از قدیم‌ترین ازمنه تا دورهٔ ساسانیان*، تهران، دانشگاه تهران.

وثیق، منصوره، (۱۳۸۷)، *دنانیر سیر دینار در تاریخ پولی ایران*، تبریز، ستوده.

Caley, E. 1955. Chemical composition of Parthian coins, numismatic notes and monogram. *American Numismatic Society*, 129.

Gordus, A.A. 1972. The purity of Sasanian silver coins and introduction. *Journal of the American Oriental Society* 92, 2: 280-283.

Hagivalie, M. , Mohammadifar, Y. , Ghiyasi, K., Jaleh, B., Lamehi-Rachti, M. , Oliaiy, P. 2008. Application of PIXE to study ancient Iranian silver coins. *Nuclear Instrument & Methods in Physics Research B*266: 1578-1582.

IBM SPSS Statistics, Version 20.

Johansson, E.S., 1995, *Particle Induced X-Ray Emission Spectroscopy (PIXE)*, John Wiley.

Jolliffee, I.T, 1986. *Principal Component Analysis*. New York, Springer-Verlag.

Maxwell, J.A. ,Campbell, J.L., Teesdale, W.J., *Nuclear Instrument & Methods in Physics Research* B43: 218-230.

Masjedi Khak, P., Khazaei Kouhpar, M., Hagivalie, M., Khademi, F. 2013. Elemental analyses on Ilkhanid Period coins By PIXE: a case study on King Ghazan silver coins. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 13(2): 83-88.

Neyestani, J. ,Salehi, A., Mousavi, S.M., Hagivalie, M. , Hejabri Noubari, A.R. 2014. Politico-economic conditions of Ilkhanid coins from different mint houses by PIXE. *Sociology and Anthropology* 2(2): 29-34.

Oliaiy, P., Shokouhi, F., Lamehi -Rachti M., Rahighi, J., Andami, P., Dilmaghani, J., Etezadi, M. 1999. Application of PIXE to study ancient Iranian silver coins. *International Journal of PIXE* 9 (3 & 4): 495-500.

Sodaei, B., Kashani, P. 2013(a). Application of PIXE Spectrometry in determination of chemical composition in Ilkhanid silver coins. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 13 (1): 161-170.

Sodaei, B., Masjedi Khak, P., Khazaie, M. 2013(b). A study of Sasanian silver coins employing the XRF technique. *Interdisciplinaria archaeological Natural Sciences in Archaeology* 4 (2): 211-215.

Sodaei, B., Hajivaliei, M., Khademi Nadooshan, F. 2013(c). Possible sources for extraction of silver by comparison of Parthian and Sasanian coins in Mede Satraps. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 13 (1): 161-170.

www.SID.ir