تحلیل عنصری سکه‌های نقره هخامنشی و اشکانی با استفاده از روش آنالیز PIXE

پروین اولیایی
دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی کاربرد پرتوها دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر،
عضو هیأت علمی پژوهشکده فیزیک و شتابگرها
poliaiy@aeoi.org.ir

حسین آفریده
استاد دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

داوود آقاعلی‌گل
کارشناسی‌ارشد – پژوهشکده فیزیک و شتابگرها

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۴
(از ص ۳۹ تا ۵۲)

چکیده
با مطالعه و اندازه‌گیری خلوص و عیار سکه‌های نقره، می‌توان به اطلاعاتی در زمینه وضعیت اقتصادی، سیاسی و اجتماعی حکومت‌های مختلف دست یافت. در این پژوهش ۲۷ سکه نقره هخامنشی و ۱۵ سکه اشکانی که در «موزه ملی ایران باستان» و ۴۷ سکه نقره اشکانی که در موزه «تماشاگه پول» نگه‌داری می‌شوند، مورد آنالیز و بررسی قرار گرفته است. با استفاده از روش آنالیز پیکسی، 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) در سکه‌ها اندازه‌گیری شده است. با توجه به این‌که عناصر فلزی نقش مهمی در تعیین عیار سکه‌های هخامنشی و اشکانی دارند، غلظت عناصر فلزی این سکه‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نتایج این بررسی‌ها، نشان می‌دهد که سکه‌های دوره هخامنشی و اشکانی براساس غلظت ناخالصی‌های فلزی مانند سرب، طلا، مس و آهن اختلاف فاحش دارند و در تحلیل آماری سکه‌های دو دوره‌ی هخامنشی و اشکانی را، می‌توان کاملاً از هم تشخیص داد. تغییرات عیار در سکه‌های دوره‌ی اشکانی بیش‌تر است که نشانه استقلال بیش‌تر مناطق مختلف قلمرو اشکانی‌ها در ضرب سکه و تفاوت‌های فناوری استخراج فلزات قیمتی در این مناطق است.

کلیدواژگان: سکه‌های نقره، هخامنشی، اشکانی، روش PIXE، تحلیل آماری.

مقدمه

مطالعه و بررسی سکه‌های قدیمی (سکه‌شناسی) شاخه‌ای از علم باستان‌شناسی است که توانسته است بسیاری از نقاط تاریک و مبهم تاریخ گذشته را روشن نماید. داریوش اول (۵۲۲ –۴۸۶ قبل از میلاد) را، باید نخستین پادشاه هخامنشی دانست که به ضرب سکه مبادرت ورزید، زیرا داریوش به زیرساخت‌های مملکتی و عوامل اقتصادی آن توجه ویژه‌ای داشته است. دیگر پادشاهان هخامنشی نیز، کار او را ادامه دادند. سکه‌های هخامنشی از جنس طلا و نقره بودند که آن‌ها را «دُریک» و «شِکِل» می‌نامند. شِکِل در حدود ۵/۶ گرم وزن داشته و محتوای نقره آن بالای ۹۶٪ بوده است (رضایی‌باغ‌بیدی، ۱۳۹۱: ۵). داریوش اجازه داده بود، تا ساتراپ‌های محلی و ایالتی نیز، سکه‌های نقره مورد نیاز را در ضرابخانه‌های واقع در قلمرو فرمان‌روایی خود ضرب نمایند، به همین دلیل بسته به موقعیت اقتصادی و قدرت مالی آنان، عیار و وزن سکه‌هایشان پایین‌تر باشد (ملکزاده‌بیانی، ۱۳۸۹: ۶۷).

تصویر روی سکه‌های هخامنشی، کمان‌داری پارسی است که گمان می‌رود، شخص شاه بوده باشد. بر پشت این سکه‌ها نیز فرورفتگی‌هایی نامنظم دیده می‌شود. از آن‌جا که سکه‌های هخامنشی نوشته ندارد، نمی‌توان با اطمینان زمان دقیق ضرب هر یک را مشخص کرد (رضایی باغ‌بیدی، ۱۳۹۱: ۶). محل ضرب سکه‌های هخامنشی، عمدتاً در سارد و هم‌چنین لیدیه، لیبیا، پامفیلی، کلیکیه و صیدا بوده است (C.L. Nunchuk, 2002: 60).

در دوره اشکانیان (۲۴۷ قبل از میلاد تا ۲۲۴ پس از میلاد)، دادوستد به‌وسیله سکه‌های نقره، مس و برنز انجام می‌پذیرفته است. بر روی سکه‌ها، تصویرِ نیم یا تمام رخ‌شاه، به‌طرز دقیقی حکاکی شده است و بر پشت سکه‌ها معمولاً (به مدت ۵ قرن) نقش «اَرَشک»، موسس این سلسله نشسته بر روی سکویی قرار دارد که کمان به‌دست گرفته است و این به‌پاس احترامی است که آن‌ها نسبت به موسس خاندان خود، ابراز می‌داشته‌اند. در سکه‌های اشکانی علامات اختصاری که معرف ضرابخانه شهر است در پشت سکه قرار دارد (ملکزاده بیانی، ۱۳۸۹: ۴۰).

چنان‌چه از روی سکه‌ها مشخص می‌شود، شهرهایی که دارای ضرابخانه بوده‌اند، شامل: نیسا (ترکمنستان)، دارا (در ناحیه دره‌گز کنونی)، صددروازه (نزدیک دامغان)، تمبراکس (ساری)، سیرینک (نزدیک ساری)، اکباتان (همدان)، شوش سلوکیه، رگا (ری)، مرو، تیسفون، هرات، کنگاور، نهاوند و غیره می‌باشند (ملکزاده بیانی، ۱۳۸۹: ۵۴–۵۳). شکل ۱، تصویری از پشت و روی دو نمونه از سکه‌های نقره اشکانی آنالیز شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

هدف پژوهش پیش‌رو این است که به سوال اساسی در مورد ارتباط ضرب سکه‌های نقره با شرایط اقتصادی و سیاسی در دوران مختلف پاسخ داده شود. بنابراین هدف از اندازه‌گیری غلظت عناصر مختلف موجود در سکه‌ها این است که با توجه به داده‌های به‌دست آمده از آنالیز عنصری سکه‌های نقره و تحلیل آماری آن، ارتباط بین خلوص سکه‌های نقره و شرایط سیاسی و اقتصادی دو دوره تاریخی با یکدیگر مقایسه و بررسی شود.

◄ شکل ۱: تصویری از پشت و روی سکه‌های نقره اشکانی (نگارندگان، ۱۳۹۳).

روش‌های مختلفی مانند SEM[4]، NAA[3]، XRF[2]، PIXE[1] برای آنالیز عنصری نمونه‌های باستان‌شناسی استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر، آنالیز عنصری نمونه‌ها با استفاده از روش پیکسی و بهره‌مندی از شتاب‌دهنده واندوگراف پژوهشکده 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 غیرمخرب بوده و در مدت زمان بسیار کوتاه (۳ تا ۵ دقیقه)، می‌توان تمام عناصر جدول تناوبی بالاتر از سدیم را در نمونه‌ی مورد آنالیز، اندازه‌گیری کرد (Johansson, 1995:7-17).

مشخصات سکه‌های آنالیز شده

اطلاعات مربوط به دوره ضرب سکه و پادشاهان مربوطه و هم‌چنین محل ضرب سکه‌ها در جدول ۱، ارائه شده است. در این جدول اطلاعاتی در مورد پادشاهان مربوط به سکه‌های هخامنشی و هم‌چنین محل ضرب آن‌ها ارائه نشده است؛ زیرا در این پژوهش سکه‌های هخامنشی مورد آزمایش، کسری از شِکِل بودند که تنها تصویر سر کمان‌دار پارسی بر روی سکه‌ها درج شده بود و بنابر اعتقاد برخی از کارشناسان تفاوت ظاهری را در چهره‌ی کمان‌دار، 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 پایه‌ی چگونگی به

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

جدول ۱: اطلاعات مربوط به سکه‌های آنالیز شده مربوط به دوره هخامنشی و اشکانی (نگارندگان، ۱۳۹۳). ◄

محل ضرب	تعداد سکه ها	نام پادشاه	دوره تاریخی
–	۲۷	نامشخص	هخامنشی
نیسا	۳	ارشک اول	اشکانی
نیسا	۱	ارشک دوم	
نیسا	۱	فریاپت	
۲ سکه نیسا و سه سکه اکباتان، بابل و سلوکیه	۵	مهرداد اول	
نیسا، اکباتان و تامبراکس هریک ۲ سکه	۶	فرهاد دوم	
۲ سکه اکباتان و یک سکه ری	۳	اردوان اول	
۳ سکه ری ودوسکه سلوکیه و اکباتان	۵	مهرداد دوم	
ری ، مرو، تراکسیان و کنگاور	۴	مهرداد سوم	
سلوکیه و ری و ۵ سکه اکباتان	۷	فرهاد چهارم	
سلوکیه	۱	تیرداد اول	
و ۴ سکه سلوکیه ۲ سکه نیسا،۲ سکه اکباتان	۸	فرهاد پنجم	
اکباتان	۱	وردان	
اکباتان و ۲ سکه سلوکیه	۳	بلاش اول	
اکباتان	۱	پاکورس دوم	
اکباتان	۱	مهرداد چهارم	
اکباتان و سلوکیه	۲	بلاش پنجم	
اکباتان	۱۰	ارد دوم	

تصویر کشیدن کمان‌دار پارسی، می‌توان به چهار نوع تقسیم کرد؛ ولی در تخصیص هر گروه به شاهان نیز اختلاف نظر وجود دارد (رضایی باغ‌بیدی، ۱۳۹۱: ۶). وزن تقریبی سکه‌های هخامنشی ۵/۴ تا ۱۰/۷۵ گرم و وزن سکه‌های اشکانی ۴ تا ۶/۳ گرم می‌باشد.

پیشینه تحقیق

آنالیز عنصری سکه‌های قدیمی ایرانی، همواره مورد توجه محققین و باستان‌شناسان داخلی و خارجی بوده است. اولین تحقیق و بررسی در مورد آنالیز عنصری سکه‌های اشکانی توسط «Caley» (Caley E., 1955) انجام شده است. تحقیقات دیگری نیز، بر روی سکه‌های دوره‌های مختلف ساسانی، اشکانی و ایلخانی توسط محققین داخلی و خارجی انجام شده است (A.A. Gordus, 1972; P. Oliaiy et al., 1999; H. Hagivalie et al. 2008; J.Neyetani, et al. 2014; P.Masjedi Khak, et al. 2013). خادمی و همکارانش، با استفاده از روش آنالیز XRF به مطالعه ترکیبات شیمیایی سکه‌های نقره دوران اشکانی و شناسایی معادن و کارگاه‌های مورد استفاده در ضرب سکه‌ها پرداخته‌اند و نتیجه گرفته‌اند که نسبت طلا به نقره، معرف خوبی برای فن‌آوری استخراج سنگ معدن نقره است؛ همچنین این نسبت، می‌تواند به‌عنوان شناسایی معادن نقره مورد استفاده قرار گیرد (خادمی ندوشن و همکاران، ۱۳۹۰). سودایی و همکارانش نیز، در مورد آنالیز عنصری سکه‌های نقره ساسانی به روش XRF (Sodaei et al, 2013) و همچنین آنالیز سکه‌های اشکانی به‌روش پیکسی، (Sodaei et al., 2013) تحقیقاتی انجام داده‌اند. مرور و بررسی تحقیقات پیشین انجام شده نشان داده است، تاکنون تحقیق اساسی و مدونی بر روی آنالیز عنصری سکه‌های دوره هخامنشی انجام نشده است؛ بنابراین در این

پژوهش تعداد ۲۷ سکه نقره هخامنشی و ۶۲ سکه نقره اشکانی جهت بررسی و اندازه‌گیری غلظت عنصری با استفاده از روش آنالیز پیکسی و مقایسه ترکیبات عنصری این دو دوره مختلف انتخاب شده است.

شرایط آزمایش و روشِ تحقیق

ابتدا، سکه‌ها با الکل و اِستون تمیز گردیده و سپس درون اطاقک آزمایش قرار گرفت. این اطاقک به کمک دو پمپ مکانیکی و دیفیوژن به خلأ 2×10^{-5} Torr می‌رسد. برای اندازه‌گیری غلظت عنصری نمونه‌ها از باریکه پروتون با انرژی ۲ MeV و جریان حدود ۳-۲ نانوآمپر استفاده شده است. باریکه پروتون مورد نیاز، توسط شتاب‌دهنده واندوگراف ۳ MV موجود در پژوهشکده فیزیک و شتاب‌گرها تولید شده است. در اثر برخورد باریکه پروتون به نمونه مورد بررسی، پرتو X مشخصه‌ای گسیل می‌شود که انرژی پرتوهای ایکس مشخصه، نوع عناصر موجود در نمونه و تعداد پرتوهای ایکس با انرژی معین، غلظت عناصر موجود در نمونه را مشخص می‌کند. انرژی پرتوهای ایکس، با آشکارساز Si(Li) که در زاویه ۱۳۵ درجه نسبت به باریکه فرودی قرار گرفته است، اندازه‌گیری شده و سپس توسط سیستم چند کانالی، طیف حاصل نمایش داده می‌شود. قدرت تفکیک آشکارساز Si(Li)، ۱۷۰ الکترون ولت برای Fe(Ka) است. جهت اندازه‌گیری کمی عناصر تشکیل دهنده نمونه‌ها از نرم‌افزار GUPIX استفاده شده است (J.A. Maxwell,1989). برای کاهش تعداد پرتوهای ایکس کم انرژی حاصل از عناصر سبک، جهت آشکار شدن بهتر عناصر سنگین، ازیک فانی فیلتر (فیلتر خندان) از جنس مایلار و با ضخامت ۱۷۵ میکرون استفاده شده است. هم‌چنین برای کالیبراسیون اندازه گیری غلظت عناصر موجود از یک سکه یورو (€)، به‌عنوان نمونه استاندارد استفاده شده است که دارای ۲۴/۸% نیکل، ۷۴/۵۹% مس و ۰/۰۹% آهن بود.

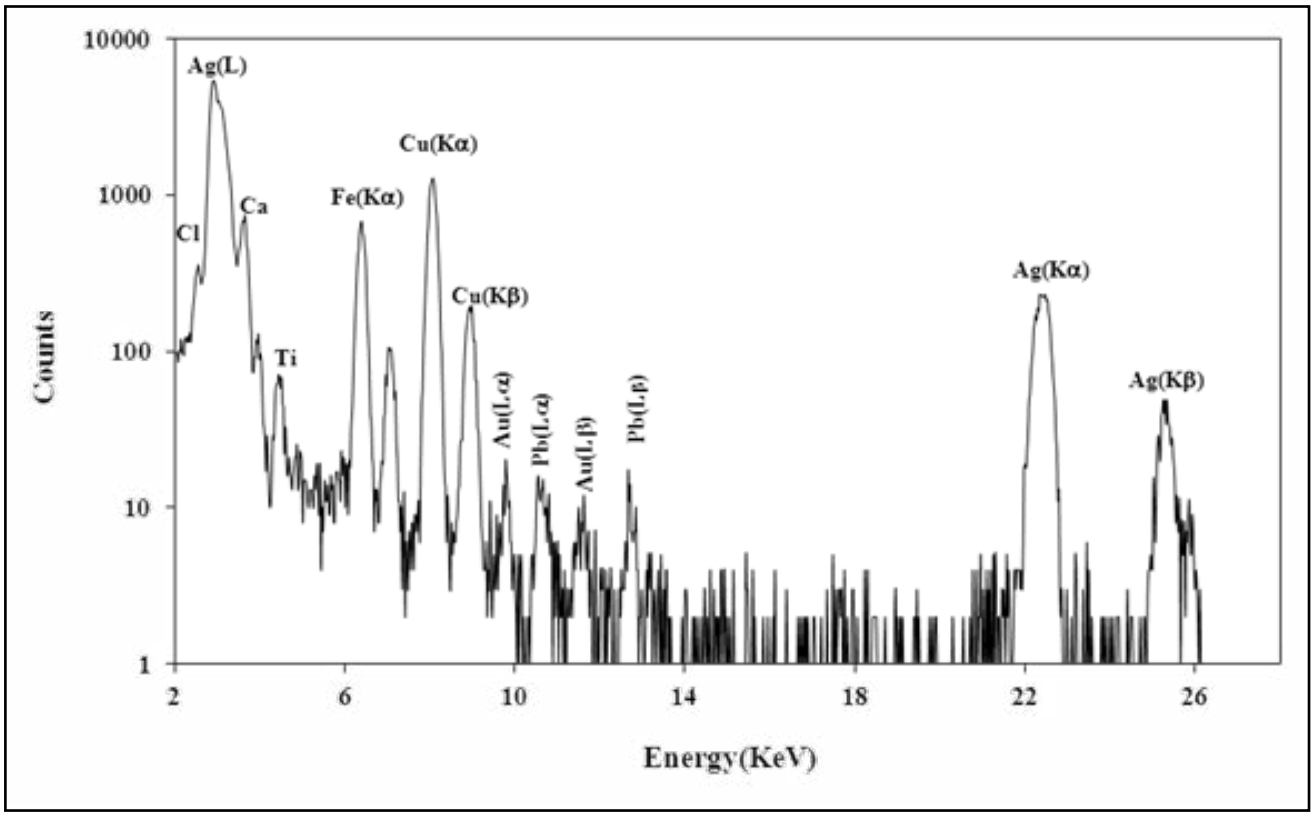
هم‌چنین با استفاده از نرم افزار SPSS[1]، می‌توان آنالیزهای آماری را انجام داد و با استفاده از تحلیل آماری بر روی ناخالصی‌های فلزی اندازه‌گیری شده در سکه‌ها، می‌توان دوره‌های مختلف تاریخی را با یکدیگر مقایسه کرد.

نتایج آزمایش و بررسی

همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، هدف از این پژوهش اندازه‌گیری غلظت عناصر موجود و تعیین عیار و خلوص سکه‌های نقره هخامنشی و اشکانی با استفاده از روش آنالیز پیکسی است. با استفاده از این روش 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) در سکه‌ها، بنابر نوع عنصر با دقت 10-100ppm اندازه‌گیری شده است. شکل ۲، به‌عنوان نمونه طیف حاصل از آنالیز یکی از سکه‌های دوره هخامنشی را، نشان می‌دهد که تمام عناصر قابل اندازه‌گیری در آن، نشان داده شده است.

با توجه به این‌که سکه‌ها در مجاورت خاک قرار داشته‌اند، عناصر غیر فلزی موجود در آن‌ها از آلودگی سطحی و یا خوردگی آن‌ها ناشی می‌شود. بنابراین

1. Statistical Package for the Social Sciences



▲ شکل ۲: طیف پیکسی حاصل از سکه نقره هخامنشی (نگارندگان، ۱۳۹۳).

برای مقایسه سکه‌های متعلق به دوره‌های مختلف، در این پژوهش مقادیر غلظت عناصر فلزی نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

در جداول ۲ و ۳، درصد غلظت عناصر فلزی موجود در سکه‌های نقره هخامنشی و اشکانی ارائه شده است. برای بررسی گویاتر عیار سکه‌ها، می‌توان به‌جای بررسی تک‌تک غلظت عنصری نمونه‌ها، مقادیر میانگین عناصر فلزی سکه‌های دو دوره را با یکدیگر مقایسه کرد.

همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، میانگین عیار نقره سکه‌های دوره هخامنشی و اشکانی به ترتیب حدود ۹۱% و ۸۶% است که حدود ۵% مقدار نقره سکه‌های هخامنشی بیش‌تر از سکه‌های اشکانی است؛ اما در مقابل مقدار ناخالصی مس سکه‌های اشکانی حدود سه برابر و مقدار ناخالصی طلای موجود در سکه‌های اشکانی حدود پنج برابر بیش‌تر از سکه‌های هخامنشی است. اما در مورد ناخالصی سرب و آهن این ارتباط معکوس می‌باشد، به این معنی که میزان ناخالصی سرب و آهن سکه‌های هخامنشی بیش‌تر از سکه‌های اشکانی است.

با توجه به این‌که برای کم کردن عیار سکه‌های ضرب شده، غالباً از ناخالصی مس استفاده می‌شده است، ارتباط معکوس بین مقدار نقره و مس در نمودار شکل ۳، کاملاً قابل توجیه و ناشی از تکنولوژی ضرب سکه‌های باستانی است. هم‌چنین چون در دوران باستان نمی‌توانستند سنگ معدنی فلزات را تصفیه کنند، به‌همین دلیل در سکه‌های نقره باستانی فلزات دیگری مانند طلا، سرب و آهن وجود دارد که ظاهراً رابطه منطقی با عیار سکه‌های نقره

◄ جدول ۲: درصد غلظت عناصر فلزی سکه‌های هخامنشی (نگارندگان، ۱۳۹۳).

نمونه	Fe	Cu	Ag	Au	Pb
۱	۲/۲	۰/۵۴	۹۵/۳۸	۰/۱	۰/۱۳
۲	۰/۰۶	۰/۷۱	۹۷/۳۳	۰/۱۶	۰/۷۴
۳	۰/۱۵	۰/۵۷	۹۷/۲۹	۰/۱۳	۰/۲۹
۴	۰/۰۵	۰/۰۹	۹۷/۵۹	۰/۲۵	۰/۱۴
۵	-	۱/۹۷	۹۶/۵۱	۰/۱۷	۰/۵۶
۶	۰/۰۴	۰/۶۸	۹۷/۵۹	۰/۱۹	۰/۱۷
۷	۰/۱۴	۰/۸۲	۹۲/۹۱	۰/۵۵	۰/۵۳
۸	۰/۰۱	۰/۸۱	۹۸/۶۱	۰/۱۲	۰/۱۶
۹	۰/۰۲	۱/۳۷	۹۷/۰۸	۰/۲۱	۰/۴۸
۱۰	۰/۰۴	۱/۱۹	۹۶/۶۶	۰/۱۱	۰/۵۷
۱۱	۰/۰۲	۱/۵۵	۹۶/۸۴	۰/۰۷	۰/۴۱
۱۲	۰/۰۳	۱/۶۷	۹۶/۹۳	۰/۱۱	۰/۴۶
۱۳	۰/۱۱	۱/۹۸	۹۶/۰۴	۰/۱۱	۰/۶۴
۱۴	۰/۰۸	۰/۹۵	۹۷/۵۹	۰/۱۴	۰/۳۰
۱۵	۰/۴۲	۴/۰۲	۹۲/۳۳	۰/۱۴	۰/۸۲
۱۶	۰/۱۰	۱/۷۳	۹۶/۷۴	۰/۱۲	۰/۳۱
۱۷	۰/۱۸	۱/۳۵	۹۵/۶۵	۰/۰۷	۰/۷۳
۱۸	۰/۶۲	۴/۹۳	۸۹/۵۶	۰/۲	۱/۲۹
۱۹	۰/۱۴	۲/۱۵	۹۵/۴۸	۰/۱۸	۱/۱۳
۲۰	۱/۱۴	۲/۱	۹۳/۰۸	۰/۱	۰/۴۹
۲۱	۰/۴۲	۱/۶۲	۹۶/۰۸	۰/۱۸	۰/۴۸
۲۲	۰/۶۱	۳/۲۱	۹۴/۱۲	۰/۱۳	۰/۸۱
۲۳	۰/۱۲	۱/۹۴	۹۶/۳۲	۰/۱۸	۰/۷۳
۲۴	۰/۶۳	۷/۹	۸۷/۸۴	۰/۱۳	۰/۹۶
۲۵	۰/۹۵	۵/۳۶	۸۹/۳۴	۰/۱۴	۰/۵۷
۲۶	۰/۲۸	۳/۶۵	۹۳/۹۹	۰/۱۸	۰/۵۹
۲۷	۱/۱۷	۲/۹۲	۹۰/۵۷	۰/۱۳	۱/۲۸

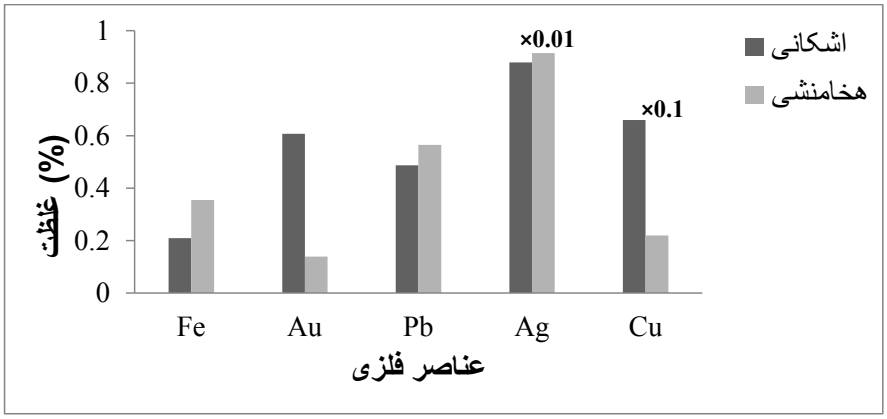
ندارد (ملکزاده‌بیانی، ۱۳۸۹: ۴۵). به‌عنوان مثال با این‌که عیار سکه‌های دوره هخامنشی بیش‌تر از دوره اشکانی است، ولی مقدار طلای سکه‌های دوره اشکانی بیش‌تر از سکه‌های هخامنشی است. از این واقعیت تاریخی، یعنی وجود طلا در سکه‌ها می‌توان برای تشخیص سکه‌های اصلی از تقلبی استفاده کرد.

همچنین با استفاده از تحلیل آماری بر روی ناخالصی‌های فلزی اندازه‌گیری شده در سکه‌ها، می‌توان دوره‌های مختلف تاریخی را طبقه‌بندی و از یکدیگر تفکیک نمود. با استفاده از نرم افزار SPSS می‌توان آنالیزهای آماری را انجام داد (IBM SPSS Statistics) شکل‌های ۴، ۵ و ۶ حاصل تقسیم ناخالصی‌های فلزات

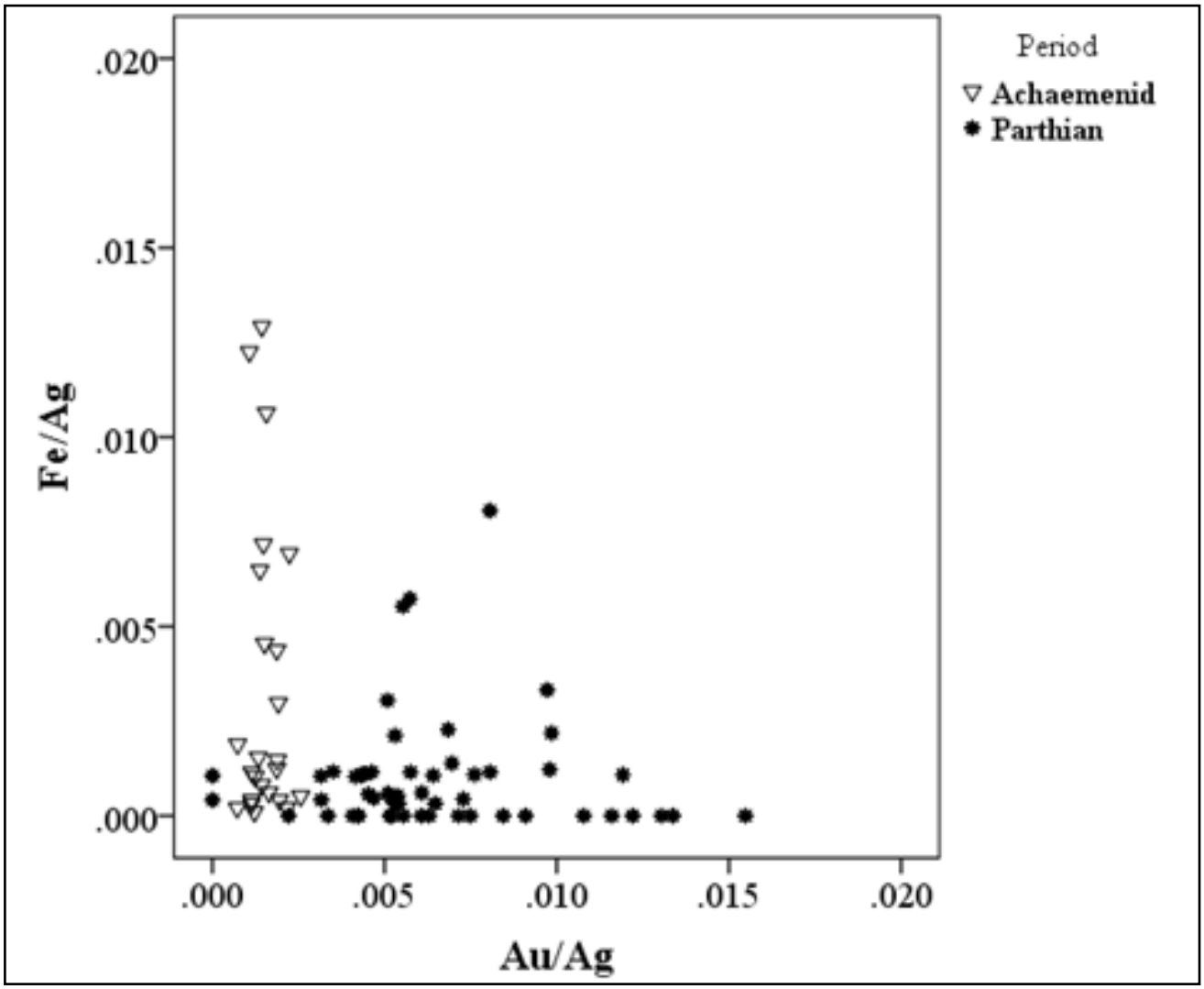
جدول ۳: درصد غلظت عناصر فلزی موجود در سکه‌های اشکانی (نگارندگان، ۱۳۹۳).◄

نمونه	Fe	Cu	Ag	Au	Pb
۱	۱/۳۱	۲۳/۸۳	۶۱/۵۶	۱/۹۶	۲/۵۲
۲	۰/۱۳	۵/۰۳	۹۱/۹۶	۲/۰۲	۰/۰۶
۳	-	۱۰/۱۱	۸۶/۷۶	۱/۱۶	۱/۱
۴	-	۹/۹۰	۸۷/۹۵	۱/۰۲	۱/۱۳
۵	-	۸/۲۲	۹۰/۱۶	۰/۸۲	۰/۸۰
۶	-	۶/۷۳	۹۰/۸۸	۰/۹۸	۱/۴۱
۷	-	۱۶/۴۶	۸۱/۲۶	۱/۰۶	۱/۲۲
۸	-	۹/۱۲	۸۹/۴۸	۰/۶۷	۰/۷۳
۹	-	۹/۶۳	۸۷/۷۰	۱/۰۷	۱/۶
۱۰	۰/۶۰	۱۵/۸۳	۷۴/۴۴	۰/۶	۰/۴۲
۱۱	۰/۴۲	۱۹/۹۰	۷۵/۹۲	۰/۴۲	۰/۸۴
۱۲	۰/۰۵	۹/۱۶	۸۴/۳۳	۰/۴۳	۰/۷۸
۱۳	۰/۲۶	۵/۲۳	۷۸/۲۱	۰/۷۶	۰/۴۹
۱۴	۳/۷۳	۱۴/۳۰	۴۳/۶۱	۰/۵	۰/۷۰
۱۵	۰/۰۵	۱۲/۰۴	۸۲/۲۴	۰/۵	۰/۷۵
۱۶	-	۰/۴	۹۸/۹۰	۰/۶	۰/۱۰
۱۷	-	۴/۱	۹۴/۸۰	۰/۸	۰/۳۰
۱۸	-	۲/۹	۹۶/۶۰	۰/۵	-
۱۹	-	۲/۵	۹۶/۹۰	۰/۵	۰/۱۰
۲۰	-	۱/۸	۹۰/۵۰	۰/۲	۰/۱۰
۲۱	۰/۱	۲/۹	۹۴/۳۰	-	۰/۳
۲۲	۰/۱	۳	۹۶/۴۰	۰/۴	۰/۱۰
۲۳	/۰۴	۱/۲	۹۴/۹۰	۰/۳	-
۲۴	-	۲/۱	۹۵/۴۰	۰/۶	۰/۲
۲۵	۰/۱	۸/۲	۹۰/۲۰	۰/۴	-
۲۶	۰/۱	۳/۱	۹۳	۰/۴	۰/۲
۲۷	-	۲/۹	۹۴/۶۰	۰/۴	۰/۱۰
۲۸	۰/۱	۴/۳	۹۵/۱۰	۰/۳	۰/۲
۲۹	۰/۰۴	۹/۷	۸۵/۳۰	۰/۴	۰/۹۶
۳۰	۰/۲	۱/۱	۹۱/۴۰	۰/۹	۰/۱
۳۱	-	۱/۲	۹۶/۹۰	۱/۵	۰/۴
نمونه	Fe	Cu	Ag	Au	Pb
۳۲	۰/۳	۰/۸	۹۸/۴۰	۰/۵	-
۳۳	۰/۰۳	۱/۹	۹۴/۴۰	۰/۵	۰/۴
۳۴	۰/۰۳	۲/۸۷	۹۲/۸۰	۰/۶	۰/۸
۳۵	۰/۲	۲/۷	۹۴/۳۰	۰/۵	۰/۳

۰/۲	۰/۶	۹۳/۶۰	۱/۸	۰/۱	۳۶
۰/۴	۰/۴	۹۸	۱/۲	-	۳۷
۰/۳	۰/۴	۹۴/۳۰	۲/۷	-	۳۸
۰/۱۰	۰/۵	۹۶	۱/۸	-	۳۹
۰/۴	۰/۵	۸۶/۹۰	۳/۲	۰/۱	۴۰
۰/۲	۰/۷	۹۷/۹۰	۱/۲	-	۴۱
۰/۳	۰/۴	۹۴/۵۰	۳/۲	-	۴۲
۰/۵	۰/۳	۸۹/۶۰	۷/۴	-	۴۳
۰/۳	۰/۶	۸۷/۷۰	۴/۲	۰/۲	۴۴
۰/۳	۰/۸	۸۱/۷۰	۱۷/۱	۰/۱	۴۵
۰/۴	۰/۵	۹۲/۸۰	۳/۴	۰/۰۳	۴۶
۱/۳	۰/۴	۶۹/۸۰	۱۴/۱	۰/۴	۴۷
۱	۰/۵	۷۱/۹۰	۲۴/۹	۰/۱	۴۸
۰/۳	۰/۵	۹۲/۵۰	۴/۰۷	۰/۰۳	۴۹
۰/۹	۰/۷	۸۶/۸۰	۵/۶	۰/۱	۵۰
۰/۶	۰/۷	۹۲	۴/۶	۰/۱	۵۱
۰/۳	۰/۵	۹۰/۲	۱/۷	-	۵۲
۰/۱۰	۰/۵	۹۳/۱	۳/۴۵	۰/۰۵	۵۳
۰/۳	۰/۴	۸۸/۴	۸	۰/۰۵	۵۴
۰/۴	۰/۶۶	۹۰/۶	۳/۳	۰/۰۴	۵۵
۰/۲	۰/۴	۷۷/۴	۱/۲	۰/۰۴	۵۶
۰/۳	۰/۴	۹۱/۲	۳/۷	۰/۱	۵۷
۰/۶	۰/۳	۸۵/۶	۶/۶	۰/۱	۵۸
۰/۳	۱/۱	۹۲/۳	۰/۹	۰/۱	۵۹
۰/۲	۰/۴	۸۶/۵	۵/۲	۰/۱	۶۰
۰/۴	۰/۲	۶۲/۱	۱۵/۸	۳/۲	۶۱
۰/۴	-	۷۱/۷	۲۵/۹	۰/۰۳	۶۲



◄ شکل ۳: مقایسه مقدار میانگین غلظت عناصر فلزی سکه‌های دوره اشکانی و هخامنشی (نگارندگان، ۱۳۹۳).

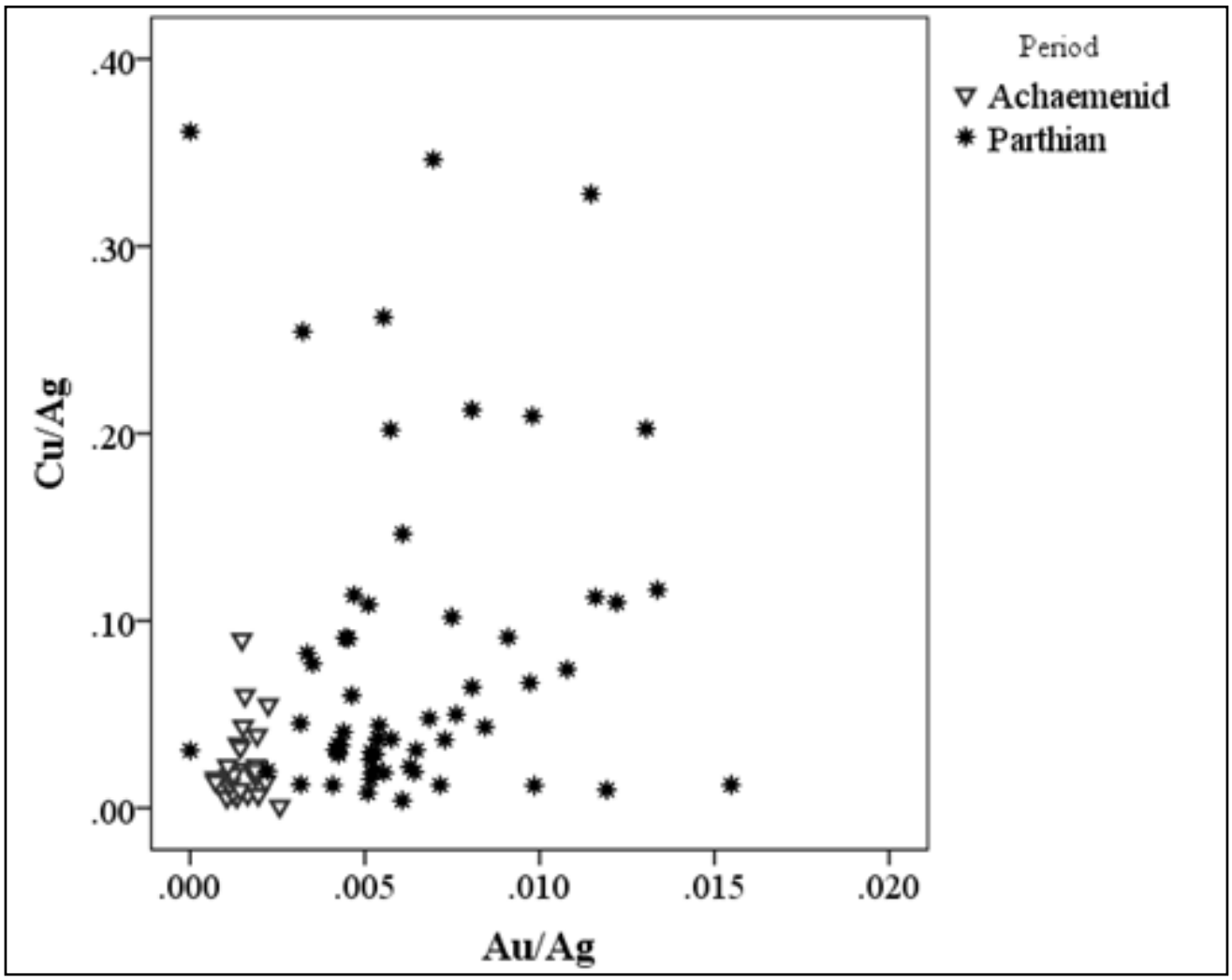


▲ شکل ۴: تغییرات نسبت ناخالصی آهن به نقره بر حسب نسبت ناخالصی طلا به نقره (نگارندگان، ۱۳۹۳).

آهن، طلا و سرب نسبت به نقره را در سکه‌های دوره هخامنشی و اشکانی آنالیز شده نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این تصاویر مشخص است، بر اساس نسبت ناخالصی‌های موجود در سکه‌ها، دو دوره‌ی مختلف اشکانی و هخامنشی کاملاً از یکدیگر جدا شده‌اند.

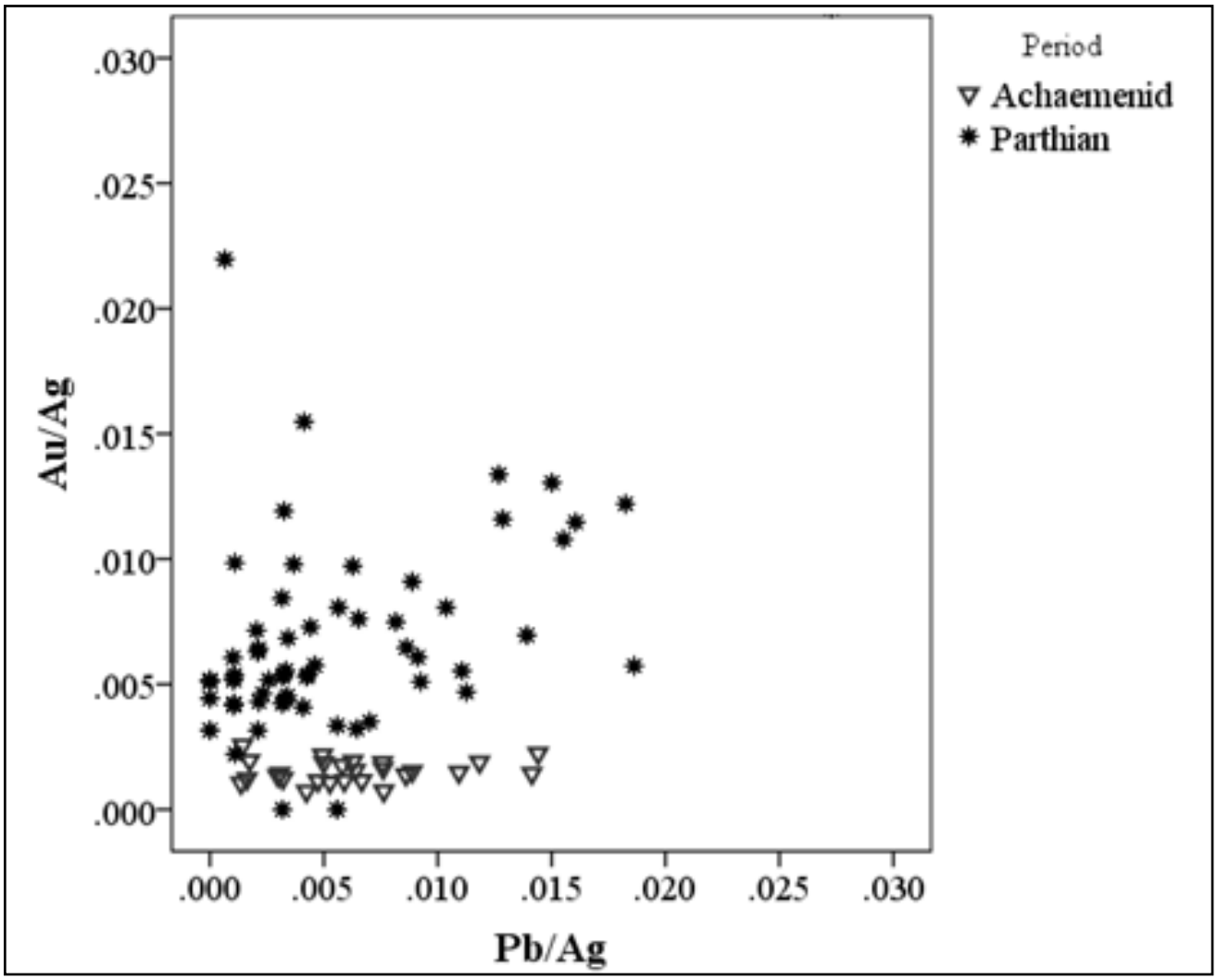
از شکل ۴، می‌توان مشاهده کرد که میزان ناخالصی آهن به نقره در مقایسه با ناخالصی طلا به نقره در سکه‌های هخامنشی و اشکانی بر عکس یکدیگر تغییر می‌کنند که کاملاً با مقدار میانگین به‌دست آمده از آن‌ها که در نمودار ۳، نمایش داده شده است، هم‌خوانی دارد.

در شکل ۵، کاملاً واضح است که میزان تغییرات مس به نقره بر حسب تغییرات طلا به نقره در دوره هخامنشی بسیار اندک است. بررسی‌های تاریخی نشان می‌دهد که نسبت مس به نقره (Cu/Ag)، کاملاً با شرایط اقتصادی حکومت‌ها ارتباط عکس دارد. بدین معنی که هرچقدر وضعیت اقتصادی حکومت‌ها بهتر بوده است، این نسبت در سکه‌ها کم‌تر است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که یکی از عوامل اصلی تفاوت سکه‌های دو دوره هخامنشی و



▲ **شکل ۵: تغییرات نسبت ناخالصی مس به نقره بر حسب نسبت ناخالصی طلا به نقره (نگارندگان، ۱۳۹۳).**

اشکانی نسبت Cu/Ag است که با توجه به شکل ۳، با میانگین عناصر ارائه شده است نیز، کاملاً سازگار است و این نسبت برای سکه‌های هخامنشی کم‌تر از سکه‌های دوره اشکانی است. هم‌چنین با نگاهی به اسناد تاریخی، می‌توان نتیجه گرفت، پارامتر دیگر که در بررسی تکنولوژی ضرب سکه‌ها مهم می‌باشد، نسبت سرب به نقره (Pb/Ag) و سرب به طلا (Au/Ag) می‌باشد که هر چقدر مقدار این نسبت کم‌تر باشد، می‌توان به این نتیجه رسید که تکنولوژی بهتری برای جداسازی سرب و طلا از کانی مورد استفاده، به‌کار گرفته می‌شده است. پراکندگی نسبتاً زیادی در سکه‌های اشکانی دیده می‌شود که این پراکندگی ناشی از تغییرات زیاد Au/Ag و Pb/Ag است (شکل ۵ و ۶) که معرف وجود معادن گوناگون در استحصال نقره می‌باشد، یا این‌که تکنولوژی به‌کار گرفته شده به‌گونه‌ای است که جداسازی سرب از سنگ معدن نقره به‌خوبی انجام نشده است و این حقیقت، می‌تواند ناشی از این باشد که سکه‌ها در یک مکان ضرب نشده‌اند و با جدول ۱ که محل ضرب سکه‌های اشکانی را نشان می‌دهد، کاملاً مطابقت دارد.



▲ شکل ۶: تغییرات نسبت ناخالصی طلا به نقره بر حسب نسبت ناخالصی سرب به نقره (نگاندگان، ۱۳۹۳).

هم‌چنین، همان‌طور که قبلاً اشاره شد، ناخالصی طلا نیز، ناشی از سنگ معدن مورد استفاده برای استحصال نقره می‌باشد، با توجه به این‌که این تغییرات در دوره هخامنشی کم می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که به احتمال زیاد سکه‌های مورد بررسی از سنگ معدن یک مکان خاص استخراج شده است. این حقیقت، می‌تواند ناشی از این باشد که سکه‌ها ی ضرب شده در این دوره از هرگونه تغییر و تحولات شدید اقتصادی دور بوده‌اند. براساس اسناد تاریخی در شاهنشاهی هخامنشی ضرب سکه‌های طلا و نقره مخصوص ضرابخانه‌های سلطنتی بوده است و امرا و ساتراپ‌های محلی که مورد اعتماد حکومت بودند، فقط در هنگام ضرورت و در لشکرکشی‌های محلی، بنابر تشخیص حکومت مرکزی مبادرت به ضرب سکه می‌کردند؛ زیرا در دوران هخامنشی، اگرچه سرزمین تحت‌سلطه آنان بسیار وسیع بوده، ولی حکمرانان همواره به‌دنبال 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 کم عیار سکه‌ها، کاملاً قابل توجیه است (ملکزاده‌بیانی، ۱۳۸۹: ۶۷). هم‌چنین

در شکل ۶، مشاهده می‌شود که بازه تغییرات سرب به نقره و طلا به نقره در سکه‌های هخامنشی نسبت به سکه‌های اشکانی بسیار کم‌تر است، این نکته نیز، باز هم با توضیحات اشاره شده هم‌خوانی و تطابق دارد. بنابراین به احتمال بسیار زیاد، براساس نتایج آنالیز عنصری با روش پیکسی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سکه‌های آنالیز شده متعلق به دوره هخامنشی در یک ضرابخانه ضرب شده‌اند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، غلظت عناصر فلزی سکه‌های دوره هخامنشی و اشکانی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نتایج اندازه‌گیری خلوص و عیار سکه‌های دو دوره اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. بدین معنی که تغییرات مشاهده شده در عیار سکه‌های دوره اشکانی بسیار زیاد است؛ زیرا در این دوران اداره کشور براساس حکمرانی ساتراپی‌ها و فرمان‌روایی‌های محلی انجام می‌گرفته و هر منطقه یا ساتراپی دستگاه مالی خاص داشته است و هیچ‌گونه تناسبی بین فلزات موجود در سکه‌های نقره در این دوره حکومتی وجود ندارد، بنابراین سکه‌های دوران اشکانی مرتب و به تناوب در ضرابخانه‌های مختلف و متعدد ضرب می‌گردیده‌اند. در مقابل میزان تغییر عیار سکه‌های دوره هخامنشی بسیار کم است که این تغییرات اندک 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. هم‌چنین نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که میانگین عیار نقره سکه‌های دوره هخامنشی حدود ۵% بیش‌تر از سکه‌های اشکانی است. در مقابل مقدار ناخالصی مس سکه‌های اشکانی حدود سه برابر و مقدار ناخالصی طلای موجود در سکه‌های اشکانی حدود پنج برابر بیش‌تر از سکه‌های هخامنشی است؛ اما در مورد ناخالصی سرب و آهن این ارتباط معکوس می‌باشد، به این معنی که میزان ناخالصی سرب و آهن سکه‌های هخامنشی بیش‌تر از سکه‌های اشکانی است. هم‌چنین آنالیز آماری مقادیر ناخالصی‌های سکه‌های دو دوره هخامنشی و اشکانی نشان می‌دهد که سکه‌های دوره هخامنشی و اشکانی قابل تفکیک و متمایز از یکدیگر هستند و با استفاده از این آنالیزها، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً سکه‌های دوره هخامنشی، غالباً در یک ضرابخانه ضرب شده‌اند.

تشکر و قدردانی

در پایان لازم است، از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد لامعی‌رشتی و هم‌چنین سرکار خانم خدیجه باصری کارشناس موزه ملی ایران باستان که سکه‌های هخامنشی را در اختیارمان قرار دادند، تشکر و سپاسگزاری نماییم.

کتابنامه

– خادمی ندوشن، فرهنگ و همکاران، ۱۳۹۰، «شناسایی منابع فلزی استحصال نقره برای ضرب سکه‌های اشکانی در استان ماد بزرگ با روش PIXE»، مجله

مطالعـات باستان‌شناسـی، شـماره۳، صـص ۸۸-۷۹.
– رضایـی باغ‌بیـدی، حسـن، ۱۳۹۱، «پیدایـی و آغـاز ضـرب سـکه در ایـران»، کتـاب مـاه تاریـخ و جغرافیـا، شـماره ۱۷۸، اسـفند، صـص ۹-۲.
ملکزاده‌بیانـی، ۱۳۸۹، تاریـخ سـکه از قدیم‌تریـن ازمنـه تـا دوره ساسـانیان، جلـد ۱و۲، تهـران، دانشـگاه تهران.

- Caley, E.,(1955), Chemical Composition of Parthian Coins, Numismatic Notes and Monogram, No 129, American Numismatic Society.
- Gordus, A.A., (1972), The Purity of Sasanian Silver Coins and Introduction, Journal of the American Oriental Society, 92, 2.
- Hagivalie, H. et al. (2008), Application of PIXE to Study Ancient Iranian Silver Coins, Nucl. Inst.& Meth. B, 266, 1578-1582. IBM SPSS Statistics, Version 20.
- Johansson, E.S., (1995), Particle Induced X-Ray Emission Spectroscopy (PIXE), John Wiley.
- Maxwell, J.A., et al., (1989), Nucl. Inst. & Meth. B43 218.
- Masjedi Khak, P. et al., (2013), Elemental Analyses On Ilkhanid Period Coins By PIXE: A Case Study On king Ghazan Silver Coins, Mediterranean Archaeology and Archaeometry, Vol. 13, No 2.
- Nunchuk, C.L., (2002), The Archers of Darius: Coinage or Tokens of Royal Esteem?, Ars Orientalis Vol. 32 p.60.
- Neyetani, J. et al., (2014), Politico-Economic Conditions of Ilkhanid Coins from Different Mint Houses by PIXE , Sociology and Anthropology 2(2), 29-34.
- Oliaiy, P., et al. (1999), Application of PIXE to study Ancient Iranian Silver Coins, International Journal of PIXE, Vol. 9, Nos. 3 & 4 495-500.
- Sodaei, B. et al., (2013), Possible Sources For Extraction Of Silver By Comparison Of Parthian And Sasanian Coins In Mede Satraps, Mediterranean Archaeology and Archaeometry, Vol. 13, No 1 pp.161-170.
- Sodaei, B. et al. (2013), A Study of Sasanian Silver Coins Employing the XRF Technique, Interdisciplinaria Archaeological Natural Sciences in Archaeology, Volume 4 No. 2, 211-215.