



مطالعه ساختارشناسی سکه‌های نقره خسروپرویز موجود در موزه آرامگاه بوعلی سینا به روش طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس

شراره‌السادات میرصفدری^۱، مهدی حاج ولیی^{۲*}

۱. دانش‌آموخته دکتری باستان‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲. دکتری فیزیک، هیئت علمی گروه فیزیک دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده

فلورسانس اشعه ایکس (XRF) یک تکنیک تحلیلی است که از برهم‌کنش پرتوهای ایکس با یک ماده برای تعیین نوع عنصر موجود در آن ترکیب استفاده می‌شود. میراث فرهنگی یکی از شاخه‌هایی است که در تأیید اطلاعات روایی دوران تاریخی و اصالت‌سنجی و مرمت از این روش استفاده می‌کند و در سال‌های اخیر به کمک نتایج علمی حاصل از فلورسانس اشعه ایکس تحلیل‌های دقیق در بررسی یافته‌های میراث فرهنگی به دست آمده است. در واکاوی حاضر که در راستای مطالعات پیشین در این زمینه صورت گرفت، بیست سکه موجود در موزه آرامگاه بوعلی‌سینا همدان با استفاده از دستگاه XRF پرتابل ساخت بروکر مورد آزمایش قرار گرفت. این پژوهش با هدف آشنایی با فنون ضرب سکه و تأیید اطلاعات تاریخی دوران خسرو پرویز اجرا گردید. مطالعه عناصر شاخص و ردیاب آشکارسازی شده در نتایج آزمایش سکه‌های نقره موزه آرامگاه بوعلی همدان نشان می‌دهد ۱: سکه‌ها با شیوه ذوب و قال‌گذاری بر اساس الگوی حکومت مرکزی در ضربخانه‌ها ضرب گردیده است. در سال‌های شروع جنگ و اوج حکومت خسروپرویز حدود سال‌های ۶۲۰ میلادی درصد نقره به بالاترین سطح خود می‌رسد و پس از آن با ادامه جنگ و آغاز بحران اقتصادی درصد نقره و مس به ترتیب پایین و بالا می‌رود. همچنین با توجه به درصد پایین‌تر از یک برای طلا در آنالیز این سکه‌ها، استخراج آن‌ها از معادن سروسایت ($PbCO_3$) محرز است.

کلیدواژه‌ها: ساسانیان، سکه‌های ساسانی، باستان‌سنجی، فلورسانس اشعه ایکس، خسرو پرویز

*نویسنده مسئول مکاتبات: ایران، همدان، بلوار شهید احمدی روشن، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک.

ایمیل: mhaji@basu.ac.ir

۱. مقدمه

روایت‌های تاریخی از دیرباز به سبب جهت‌گیری‌های سیاسی و خطاهای انسانی، نیازمند مطالعات تکمیلی و بازنگری است. سکه‌های ساسانی با توجه به تبادلات تجاری و همچنین نمایش کامل تصاویر شاهان، نقش مهمی در مطالعات میراث فرهنگی دارند. به همین دلیل استفاده از روش‌هایی که به نمونه‌های باستانی آسیب نرسانند، از اهمیت بالایی برخوردارند. روش طیف‌نگاری فلورسانس اشعه ایکس یک روش تحلیلی غیرمخرب است که امروزه در زمینه‌های گوناگونی همچون متالوژی، جرم‌شناسی، شیمی، باستان‌شناسی، زمین‌شناسی و ... کاربرد گسترده‌ای دارد [1]. طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس پرتابل مزایای متعددی در زمینه مطالعات میراث فرهنگی دارد، زیرا از جمله روش‌های آنالیز سطحی است که در به‌کارگیری این تکنیک، تنها یک لایه سطحی یا عمقی حدود چند میکرومتر تا چند ده میکرومتر کافی است [2] و بدون هرگونه آسیبی، قابلیت مطالعه اشیای باستانی را امکان‌پذیر می‌سازد [3]. همچنین حمل دستگاه XRF پرتابل راحت و قابل استفاده در مناطق مختلف است و به‌خصوص در مطالعات موزه‌ای که انتقال نمونه به دلایل امنیتی به آزمایشگاه امکان‌پذیر نیست [4]. مطالعه عناصر شاخص و ردیاب در اشیای باستانی اطلاعات مهمی در خصوص تکنولوژی، اصالت و وقایع تاریخی فراهم می‌کند [5]. درصد عناصر مختلف می‌تواند شرایط مختلف اقتصادی و فناوری ضرب، تعیین اصالت اشیاء و اعتبار اخبار و منابع تاریخی را نشان دهد.

در این واکاوی به دنبال طرح پرسش‌های (۱) ضرب‌خانه‌های دوره پادشاهی خسرو پرویز در ضرب سکه‌ها از چه فنون و الگویی پیروی کرده‌اند؟ (۲) مطالعات آزمایشگاهی عناصر این سکه‌ها به وسیله دستگاه pXRF چه اطلاعاتی در مورد شرایط سیاسی و اقتصادی حاکم بر آن زمان در اختیار ما قرار می‌دهند؟ به نتایج زیر دست یافته‌ایم. حضور عناصر شاخص مانند نقره و سرب و روی و عناصر ردیاب مانند آرسنیک و بیسموت و طلا در سکه‌های خسرو پرویز اطلاعات علمی درباره روش‌های ضرب سکه و بررسی وزن و قطر سکه‌ها، الگوهای ضربخانه‌ها در این دوره زمانی را مشخص می‌کند. همچنین تغییرات درصد نقره در سکه‌های خسرو پرویز نشان‌دهنده تحولات اجتماعی و اقتصادی در دوره این پادشاه است و تحلیل‌های علمی، گزارش تاریخی درباره وضعیت اقتصادی و اجتماعی این پادشاه تأیید می‌کند.

۲. پیشینه پژوهش

سکه‌شناسی ساسانی از قرن هجدهم میلادی آغاز شد. گویل یکی از برجسته‌ترین متخصصان سکه‌شناسی عصر ساسانی است که به مطالعه ریخت‌شناسی این سکه‌ها پرداخته است [6]. هوگز در کتابش به مطالعه و مقایسه سکه‌های ساسانی با فلزات نقره‌ای رومی می‌پردازد [7]. میرز و همکاران نیز با مطالعات آزمایشگاهی بر سکه‌های دوره ساسانی به شناسایی معادن مورد استفاده براساس میزان عناصر کمیاب طلا و ایریدیوم پرداخته‌اند [8]. حاجی‌ولیی در تحقیقی با عنوان به‌کارگیری روش طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس (WDXRF) در مطالعه سکه‌های نقره‌ای ساسانیان، به وسیله مطالعه شانزده سکه ساسانی از پادشاهان مختلف بر اساس عناصر تشکیل‌دهنده به دسته‌بندی معادن سروسایت و گالنا در استخراج مواد اولیه این سکه پرداخته است [9]. همچنین حاجی‌ولیی در مقاله دیگر به مطالعه سکه‌های خسرو پرویز توسط روش PIXE پرداخته است و بر اساس درصد عناصر به دست آمده، وضعیت اقتصادی را در دوره این پادشاه بررسی کرده است [10]. خادمی ندوشن در پژوهشی به بررسی منابع احتمالی و فناوری تصفیه سکه‌های نقره اشکانی و ساسانی پرداخته است [11]. مهدی سبزی‌علی و همکاران با روش XRF به مطالعه سکه‌های مهرداد اول و دوم اشکانی پرداخته‌اند و با مقایسه درصد نقره در این سکه‌ها به ضعف اقتصادی در دوران جنگ در زمان حکومت این دو پادشاه پی برده‌اند [12]. بختیاری در پایان‌نامه‌اش با عنوان «تحلیل و مقایسه وضعیت اقتصادی دوران پادشاهی قباد اول و خسرو پرویز ساسانی براساس آنالیز آزمایشگاهی سکه‌ها»، به مطالعه سکه‌های قباد اول و مقایسه آن با سکه‌های خسرو پرویز پرداخته و تحلیل‌های علمی بر اساس حضور یا عدم حضور برخی عناصر ارائه می‌دهد [13].

۳. بخش مواد و روش‌ها

استفاده از روش XRF قابل حمل در سال‌های اخیر به دلیل غیرمخرب بودن و حمل آسان، گسترش فوق‌العاده‌ای داشته است. این پژوهش از نظر هدف، بنیادی و از نظر روش، توصیفی و پیمایشی است. ابتدا با مطالعه کتابخانه‌ای و تکمیل اطلاعات پژوهش‌های پیشین سکه‌های دوره خسرو پرویز انتخاب شد. به منظور آنالیز سکه‌های ساسانی دستگاه به موزه آرامگاه بوعلی انتقال یافت. این دستگاه XRF پرتابل مدل STITAN، ساخت بروکر آمریکا متعلق به دانشگاه بوعلی سیناست. این دستگاه شامل نمایشگر لمسی رنگی، تیوپ پنجاه کیلوولتی اشعه X و آشکارساز رانشی سیلیکون (SDD) است. این دستگاه می‌تواند برای تعیین عناصر موجود در آلیاژها، فلزات گران‌بها، خاک، معادن و همچنین اندازه‌گیری عناصر سبک مانند منیزیم، آلومینیوم و سیلیکون، بدون نیاز به خلأ یا فضای هلیوم استفاده شود. زمان تابش دهی به سکه‌ها شصت ثانیه در نظر گرفته شد. در این بررسی ابتدا سکه‌ها با مواد مجاز پاکسازی گردیدند و سپس با استفاده از دستگاه کالیبره شدند، هر یک از سکه‌ها به‌طور مجزا آنالیز و شماره آنالیز مربوط به هر سکه یادداشت گردید. اطلاعات مربوط به آنالیز سکه‌ها و درصد عناصر موجود در سکه‌ها با استفاده از بسته نرم‌افزاری Bruker Toolbox به دست آمد.

۴. نتایج و یافته‌ها

سکه‌های ساسانی مورد مطالعه در این پژوهش، بر اساس گفته‌های مسئولان موزه آرامگاه بوعلی سینا همدان در کاوش‌های باستان شناسی درون کیسه چرمی از اوچ تپه ملایر به دست آمدند. تعدادی از این سکه‌ها در مطالعه‌های پیشین مورد بررسی قرار گرفتند و به منظور تکمیل اطلاعات به دست آمده بیست عدد از سکه‌ها انتخاب و پس از آماده‌سازی مورد آزمایش قرار گرفتند. در جدول ۱ به معرفی این سکه‌ها پرداخته شده است.

جدول ۱: معرفی سکه‌های مورد مطالعه

Table 1: Introduces the studied coins

شماره	شماره موزه	تصاویر	شماره XRF	وزن سکه (گرم)	قطر سکه (سانتی متر)	محل ضرب سکه	تاریخ ضرب سکه (سال)
Number	Museum number	Pictures	XRF number	Coin weight (g)	Coin diameter (cm)	Coin mint location	Date of coinage
۱	۱۲۶۲		۱۱۱-۱۱۲	۳/۹	۳/۴	اردشیر	سی‌وهفتم از سلطنت خسرو پرویز

سی و سوم از سلطنت خسرو پرویز	ناخوانا	۳/۳	۳/۶	۱۱۴-۱۱۳		۱۲۶۱	۲
سی و هفتم از سلطنت خسرو پرویز	وه اردشیر	۳/۲	۳/۹	۱۱۶-۱۱۵		۱۲۶۰	۳
سی و چهارم از سلطنت خسرو پرویز	استخر	۳/۲	۴/۱	۱۱۸-۱۱۷		۱۲۱۴	۴
سی و دوم از سلطنت خسرو پرویز	داراب گرد	۳/۱	۴/۱	۱۲۰-۱۱۹		۱۲۱۶	۵
بیست و پنجم از سلطنت خسرو پرویز	نهادند	۳/۱	۴/۱	۱۲۲-۱۲۱		۱۲۱۷	۶
سی و هفتم از سلطنت خسرو پرویز	شیراز	۳	۴/۱	۱۲۴-۱۲۳		۱۲۱۸	۷
بیست و هشتم از سلطنت خسرو پرویز	یزد	۳/۲	۴/۱	۱۲۶-۱۲۵		۱۲۱۹	۸

سی و دوم از سلطنت خسرو پرویز	میشان	۳/۲	۴/۱	۱۲۷-۱۲۸		۱۲۲۰	۹
سی و هشتم از سلطنت خسرو پرویز	ناخوانا ست	۳/۲	۴/۱	۱۲۹-۱۳۰		۱۲۲۲	۱۰
بیست و نهم از سلطنت خسرو پرویز	گرگان	۳/۲	۴/۱	۱۳۱-۱۳۲		۱۲۲۳	۱۱
سی ام از سلطنت خسرو پرویز	یزد	۳/۲	۴/۱	۱۳۳-۱۳۴		۱۲۲۵	۱۲
سی و چهارم از سلطنت خسرو پرویز	وه اردشیر	۳/۲	۴/۱	۱۳۵-۱۳۶		۱۲۲۶	۱۳
سوم از سلطنت خسرو پرویز	جی (اصفها ن)	۳/۲	۴/۱	۱۳۷-۱۳۹		۱۲۲۷	۱۴
سی ام از سلطنت خسرو پرویز	اردشیر خوره	۳/۱	۴/۱	۱۴۰-۱۴۱		۱۲۲۸	۱۵

سی و یکم از سلطنت خسرو پرویز	نهادند	۳/۲	۴/۱	۱۴۳-۱۴۲		۱۲۲۹	۱۶
سی و سوم از سلطنت خسرو پرویز	وسپشاد خسرو	۳/۲	۴/۱	۱۴۵-۱۴۴		۱۲۳۰	۱۷
دوم از سلطنت خسرو پرویز	میشان	۳/۳	۴/۱	۱۴۷-۱۴۶		۱۲۳۱	۱۸
سی و هشتم از سلطنت خسرو پرویز	جی (اصفها ن)	۳/۲	۴/۱	۱۴۹-۱۴۸		۱۲۳۴	۱۹
سی و سوم از سلطنت خسرو پرویز	کرمان	۳/۲	۳ / ۷	۱۵۳-۱۵۲		۱۲۳۵	۲۰

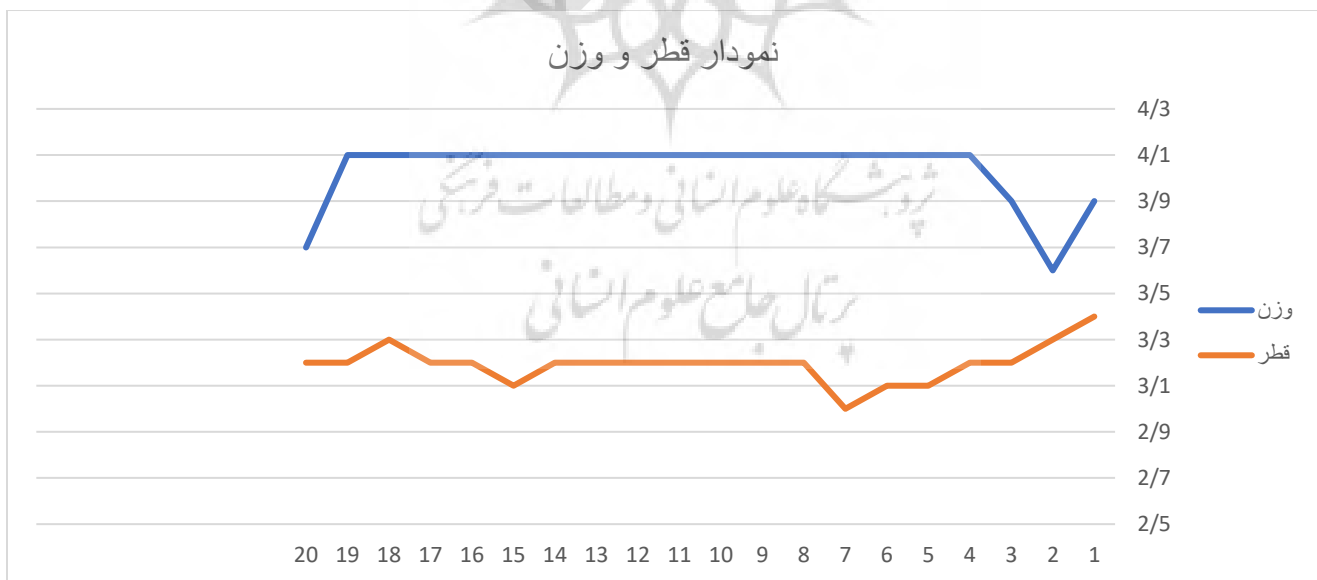
بیشتر سکه‌ها در ضرابخانه‌های غرب و نواحی مرکزی در زمان خسرو پرویز ضرب شده‌اند.



شکل ۱: نمایش ضرب خانه‌های سکه‌های مورد مطالعه

Fig. 1: shows the mints of the studied coins

بر اساس اطلاعات درج‌شده در جدول ۱، نمودار قطر و وزن سکه‌های در شکل ۲ ترسیم گردید.



شکل ۲: نمودار وزن و قطر سکه‌های مورد مطالعه

Fig. 2: Graph of weight and diameter of the studied coins

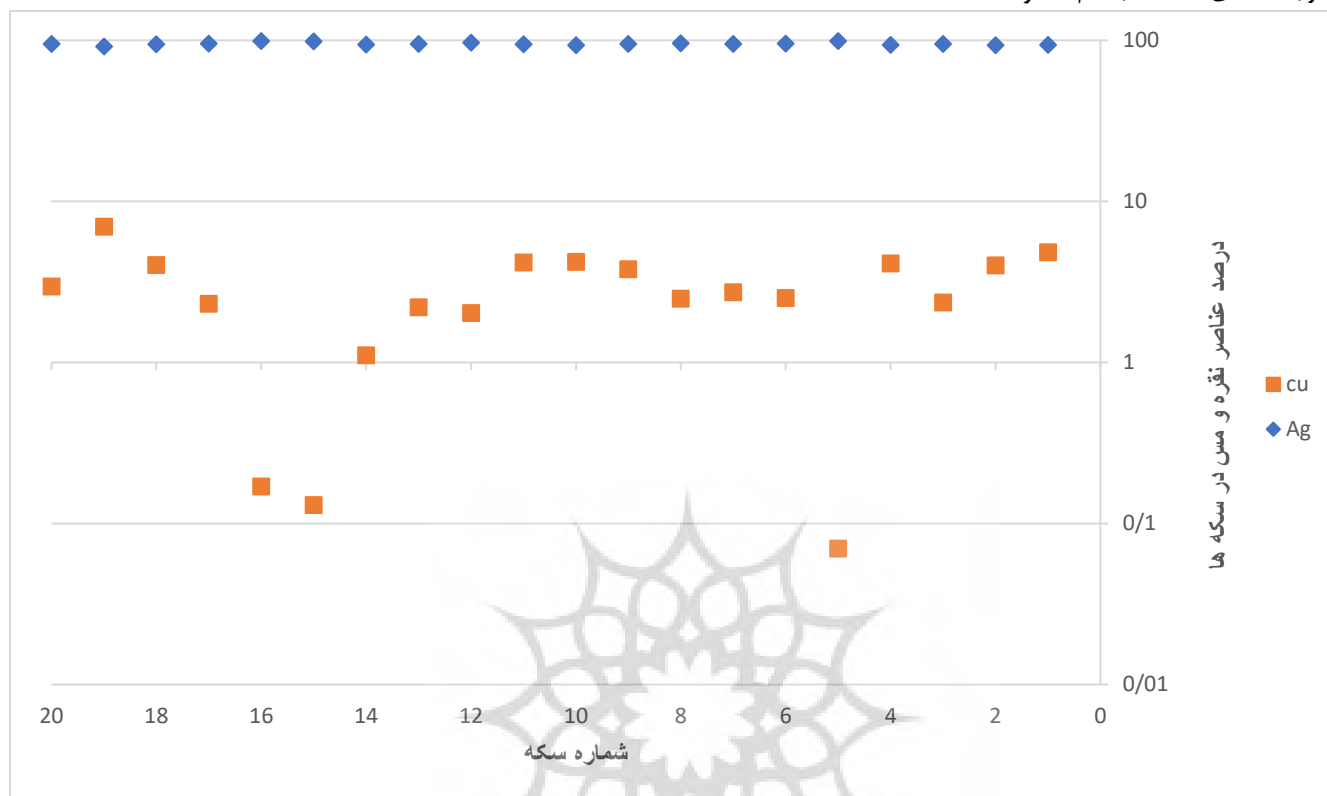
با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام‌شده روند همگن و یکنواخت قطر و وزن در ضرب سکه‌ها مشاهده گردید و همچنین بیشتر سکه‌های مورد مطالعه در یک محدوده وزنی قرار دارند. مطالعه طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس نشان داد عناصر تیتانیوم (Ti)، کروم (Cr)، منگنز (Mn)، آهن (Fe)، مس (Cu)، آرسنیک (As)، سلنیوم (Se)، نقره (Ag)، کادمیوم (Cd)، سرب (Pb) و بیسموت (Bi) در این سکه‌ها شناسایی شد که نقره بیشترین درصد را به خود اختصاص داده است.

جدول ۲: درصد عناصر تشکیل‌دهنده سکه‌های مورد مطالعه

Table 2: Percentage of elements of the studied coins

شماره سکه	شماره XRF	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Au	Se	Ag	Cd	Pb	Bi
۱	111	< LOD	0.01	0.01	0.73	4.83	< LOD	0.01	93.77	0.03	0.57	0.04
۲	113	< LOD	0.01	0.00	0.33	4.01	< LOD	0.02	93.24	< LOD	2.28	0.11
۳	115	< LOD	0.01	0.00	0.31	2.36	< LOD	0.02	94.82	< LOD	2.34	0.13
۴	117	< LOD	0.01	0.00	0.57	4.12	< LOD	0.02	93.81	< LOD	1.43	0.03
۵	119	< LOD	< LOD	0.00	0.37	0.07	< LOD	0.00	98.77	< LOD	0.67	0.10
۶	121	< LOD	0.01	0.01	0.61	2.51	< LOD	0.04	95.60	< LOD	1.16	0.07
۷	123	< LOD	0.01	0.00	0.31	2.73	< LOD	0.03	94.82	< LOD	2.06	0.05
۸	125	< LOD	0.01	0.01	0.58	2.49	< LOD	0.04	95.77	< LOD	1.05	0.06
۹	127	< LOD	0.01	0.00	0.33	3.80	< LOD	0.03	94.98	< LOD	0.81	0.03
۱۰	129	0.02	0.01	0.01	1.10	4.22	< LOD	0.03	93.45	< LOD	1.12	0.05
۱۱	132	< LOD	0.01	0.00	0.31	4.18	< LOD	0.03	94.61	< LOD	0.83	< LOD
۱۲	133	< LOD	0.01	0.01	0.52	2.03	< LOD	0.03	96.94	0.03	0.40	0.02
۱۳	135	< LOD	0.01	0.00	0.25	2.20	< LOD	0.03	94.83	0.03	2.61	0.04
۱۴	137	0.03	0.01	0.01	1.74	1.11	< LOD	0.02	94.18	< LOD	2.87	0.04
۱۵	140	< LOD	0.01	0.01	1.05	0.13	< LOD	0.03	98.49	0.03	0.25	< LOD
۱۶	142	< LOD	0.01	0.01	0.68	0.17	< LOD	0.03	98.82	0.03	0.23	< LOD
۱۷	144	< LOD	0.01	0.01	0.71	2.31	< LOD	0.02	95.54	< LOD	1.28	0.11
۱۸	146	< LOD	0.01	0.01	0.51	4.03	< LOD	0.02	94.40	0.02	1.00	< LOD
۱۹	149	< LOD	0.01	0.00	0.25	6.98	< LOD	0.03	91.38	< LOD	1.32	0.03
۲۰	151	< LOD	< LOD	< LOD	1.01	2.96	< LOD	0.01	94.88	< LOD	1.13	< LOD

مشکلاتی نظیر مسافرت، سختی راه و کمبود امکانات، از انتقال مواد اولیه ضرب سکه خودداری می‌کردند و مجبور بودند از نزدیک‌ترین معدن نقره موجود، نقره مورد نیاز خود را استخراج نموده و مورد استفاده قرار دهند. به همین دلیل درصد نقره به‌دست‌آمده در ضربخانه‌های مختلف با هم متفاوت است.

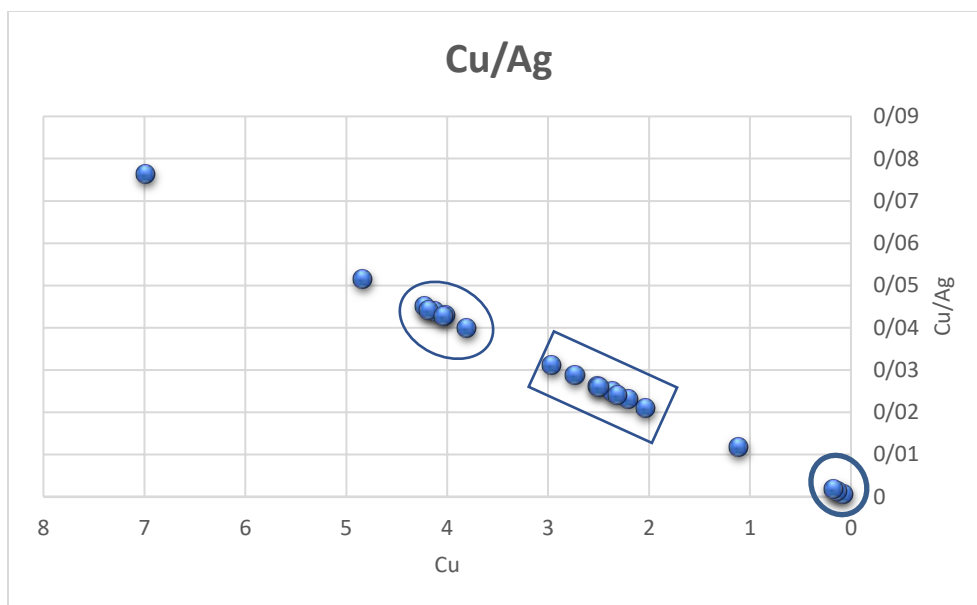


شکل ۳: درصد مس و نقره در سکه‌های مورد مطالعه

Fig. 3: Percentage of copper and silver in the studied coins

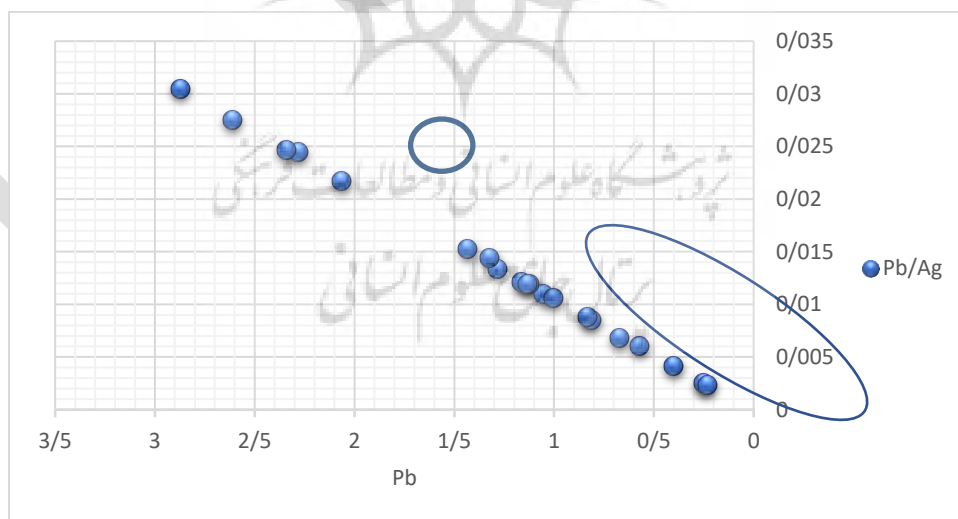
بر اساس شکل ۳: نسبت مس و نقره در تمام نمونه‌ها همگن است یعنی با افزایش مس، نقره پایین می‌آید و همچنین درصد مس در سکه شماره ۱۹ اختلاف معناداری با بقیه سکه‌ها دارد.

پرتال جامع علوم انسانی



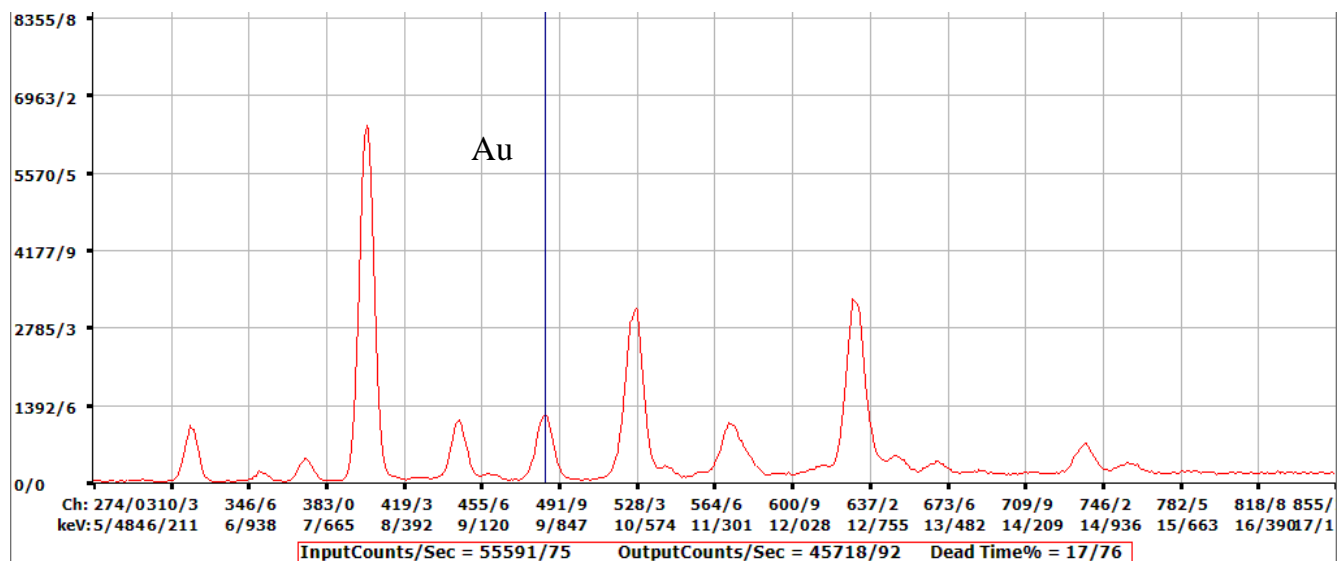
شکل ۴: نسبت درصد Cu موجود برحسب Cu/Ag در سکه‌های خسرو پرویز
 Fig. 4: Cu percentage ratio available in terms of Cu / Ag in Khosrow Parviz coins

به منظور دسته‌بندی کردن سکه‌ها و پالایش نتایج به دست آمده نسبت Cu/Ag برحسب Cu در شکل ۴ ترسیم شده است. قرارگیری نتایج در سه محدوده مشخص در شکل نشان دهنده استفاده از منابع و معادن مختلف در ضرب سکه‌هاست. در شکل برخی سکه‌ها با فاصله از دیگر نمونه‌ها قرار دارند که می‌تواند نشان دهنده جعلی بودن یا ضرب سکه برای بار اول، از معدن مورد استفاده باشد. بر اساس مطالعات پیشین و نتایج به دست آمده، وجود اشتراکات زمانی و مکانی در ضرب دسته‌های مختلف سکه‌ها مشاهده می‌شود.



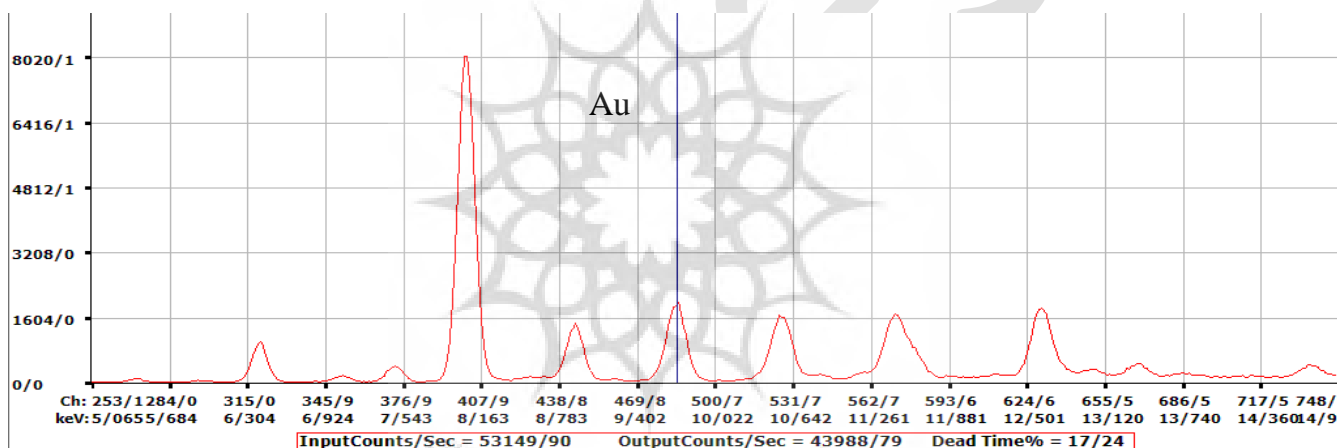
شکل ۵: نسبت درصد Pb موجود برحسب Pb/Ag در سکه‌های خسرو پرویز
 Fig. 5: The percentage of Pb percentage in terms of Pb / Ag in Khosrow Parviz coins

در این نمودار هم تفاوت‌هایی در عناصر به کاررفته در برخی سکه‌ها قابل مشاهده است.



شکل ۶: طیف سکه شماره ۶

Figure 6: Spectrum Coin No. 6



شکل ۷: طیف سکه شماره ۱۳

Figure 7: Coin Spectrum No. 13

در تمامی طیف‌ها پیک طلا دیده می‌شود اما درصد آن کمتر از حد آشکارسازی است.

۵. بحث در نتایج و یافته‌ها

حوادث تاریخی در دوران پادشاهی خسرو پرویز:

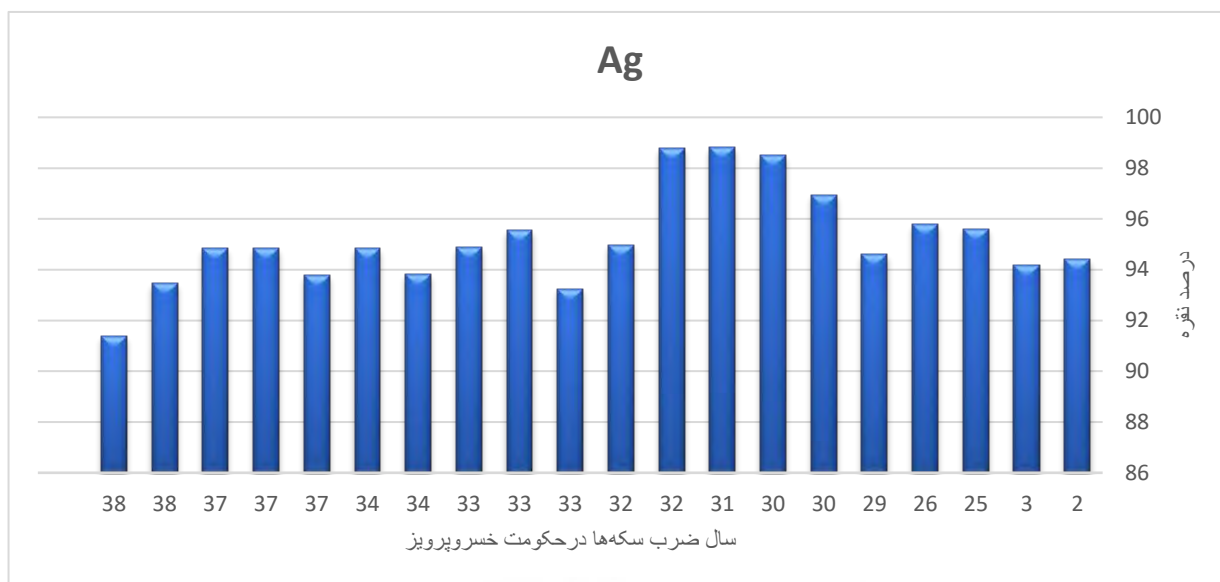
پادشاهی خسرو پرویز در سال ۵۹۰ میلادی آغاز شد، لیکن یکی از سرداران معروف هرمز چهارم به نام بهرام چوبین پسر گشنسب که از بزرگ‌زادگان خاندان اشرافی مهران بود، سر به شورش گذاشت و حاضر به مصالحه و به رسمیت شناختن خسرو نشد و او مجبور شد به سرزمین‌های روم شرقی و امپراتور موریکیوس پناهنده شود. بهرام در نبود رقیب خود تیسفون را به تصرف درآورد و به‌عنوان بهرام ششم بر تخت سلطنت ساسانی نشست. موریکیوس سپاهی در اختیار خسرو نهاد و دختر خود، مریم، را نیز به ازدواج وی درآورد [14]. چندی بعد، خسرو برای بازپس گرفتن تاج و تخت به سوی ایران حرکت کرد. در میان راه، گروهی از سپاهیان ساسانی به او پیوستند. سرانجام، خسرو در ۵۹۱ میلادی در محلی نزدیک دریاچه ارومیه، سپاه بهرام چوبین را درهم شکست. بهرام نزد ترکان گریخت، اما

حدود یک‌سال بعد، ظاهراً به تحریک خسرو در آنجا کشته شد [15]. در حدود ۶۰۲ میلادی، به فرمان خسرو، نعمان بن مُنذر، آخرین پادشاه لخمی حیره، دستگیر و کشته شد؛ بدین ترتیب، فرمانروایی لخمیان در حیره پایان یافت. از آن پس، برخی قبایل عرب که دیگر حکومت لخمیان را مانع خود نمی‌دیدند، گاه‌وبی‌گاه به سرزمین‌های مرزی ایران می‌تاختند [16]. پس از کشته‌شدن موریکوس (در ۶۰۲ میلادی) جنگ‌های ایران و روم تجدید شد [17]. پس از آن، خسرو در عصر نارضایتی مردم و اطرافیانش در سال ۶۲۸ م کشته شد. به‌طور خلاصه وقایع مهم پادشاهی خسرو پرویز در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳: وقایع مهم در دوره پادشاهی خسرو پرویز

Table 3: Important events in the reign of Khosrow Parviz

Date/تاریخ	Events/وقایع	
628 BC	Death of Khosrow Parvis	مرگ خسرو پرویز
627 BC	The defeat of Rome and the weakening of the kingdom	شکست از روم و تضعیف پادشاهی
622 BC	The peak of power	اوج قدرت
603-610BC	Capture of Matran	تصرف مطران
603 BC	Consolidation of government	تثبیت حکومت
602 BC	Arresting and killing Nu'manah ibn Munther	دستگیری و کشتن نعمان بن مُنذر
602 BC	Military campaign to Byzantium	لشکرکشی به بیزانس
591BC	Return from Rome and defeat Bahram	بازگشت از روم و شکست بهرام
590 BC	Reaching the government	رسیدن به حکومت



شکل ۸: درصد نقره در سکه‌های مورد مطالعه
Figure 8: Percentage of silver in the studied coins

عناصر به‌دست‌آمده در سکه‌های مورد مطالعه هر کدام بیانگر نکات علمی در مورد شیوه ضرب سکه و وقایع تاریخی در آن زمان هستند. بر همین اساس عناصر به‌دست‌آمده در جدول ۴ به ترتیب درج گردیده است.

جدول ۴: عناصر موجود در سکه‌ها و توضیحات مربوط به آن‌ها
Table 4: The elements in coins and their descriptions

عناصر	توضیحات
Ag	<ul style="list-style-type: none"> نقره ستون فقرات سیستم پولی، اقتصاد و تاریخ ساسانیان (۲۲۴-۶۵۲ م.) بود [11]. بر همین اساس، تغییرات درصد نقره در سکه‌های ساسانی بیانگر اتفاقات و تغییر اجتماعی و سیاسی در دوران پادشاهی خسرو پرویز است. دوران شاهان ساسانی، از فراز و نشیب‌هایی نیز برخوردار بوده است که در خلال این فرازونشیب‌ها، شاهد تغییرات غلظت نقره موجود در سکه‌های آن‌ها هستیم [9]. میانگین نقره در سکه‌های خسرو پرویز حدود ۹۴ درصد است و نشان‌دهنده آن است که نسبت به پادشاه قبلی درصد بیشتری دارد. این میزان در سکه‌های قباد اول بین ۴۸/۹۰ تا ۹۷/۹۰ درصد به‌دست آمده است [13].
Cu	<ul style="list-style-type: none"> مس به دلیل خواص مطلوب مختلف از جمله هدایت الکتریکی و حرارتی عالی، مقاومت بالا در برابر خوردگی و سهولت کار، ماده‌ای مفید با طیف گسترده‌ای از کاربرد است [10]. حضور عنصر مس، در حالت معمول می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای شناسایی معدن باشد، به هنگام ذوب نقره به شکل طبیعی درصدی از فلز مس (حدود ۱ درصد) با نقره همراه است. در برخی موارد، شرایط بد اقتصادی سبب می‌شود عمده‌اً عنصر مس به سکه اضافه شود. افزایش مس بالاتر از ۱ درصد در این سکه‌ها نشان می‌دهد که مس به‌عنوان عنصر شیمیایی اضافه شده و با هدف غش به کار رفته است و سبب سختی و استحکام در سکه‌هاست [18].

Pb	<ul style="list-style-type: none"> • سرب عنصر تکنیکی در سکه‌های نقره است [19] و بهترین شاخص از فناوری استخراج سنگ معدن مورد استفاده است (مسجدی خاک، ۱۳۹۲: ۱۶۰). بر اساس شکل ۵ اگر نسبت سرب موجود در سکه‌ها به میزان نقره (Pb/Ag) در تمامی سکه‌ها با اختلاف جزئی ثابت باشد، مشخص‌کننده آن است که سرب موجود در سکه‌ها به همراه نقره از معدن استخراج شده است و به صورت اختیاری به آن اضافه نشده است. • تقریباً نیمی از فلزات نقره جهان از معادن سرب استخراج می‌شوند. در دوران باستان نیز از سنگ معدن سرب و یا سرب و روی به طور عمده برای تولید نقره استفاده می‌شد، محتوای کم سرب در سکه‌ها می‌تواند فرایند باکیفیت استحصال نقره را نشان دهد [20].
As	<ul style="list-style-type: none"> • برای ساخت سکه از دو تکنیک ضرب سکه به روش چکشی و ذوب استفاده می‌شود. در تکنیک ذوب که در بیشتر موارد برای استفاده مجدد از سکه‌های پادشاه پیشین استفاده می‌شد، آلیاژ موردنظر را ذوب کرده و در قالب‌های مخصوص سکه‌ها می‌ریزند که پس از سرد و منجمدشدن، طرح قالب دقیقاً روی سکه منعکس می‌گردد. از آنجا که نقطه جوش عنصر آرسنیک خیلی پایین‌تر از عناصر نقره و طلاست، با ذوب کردن آلیاژ مربوطه، عنصر آرسنیک تبخیر شده و در آلیاژ باقی نمی‌ماند. به همین دلیل، در تمام سکه‌های نقره‌ای و طلایی که به حالت ذوب ساخته می‌شود، عنصر آرسنیک دیده نمی‌شود [9] عدم حضور عنصر آرسنیک در بیشتر سکه‌ها نشان‌دهنده این است که ابتدا ورقه‌های مورد استفاده در ضرب سکه‌ها به طریق ذوبی تهیه کرده‌اند و سپس سکه‌ها را ضرب کرده‌اند.
Fe	<ul style="list-style-type: none"> • وجود آهن در بعضی از سکه‌ها به منشأ آلودگی سطحی مربوط می‌شود، در شرایطی که بیشتر سکه‌های مورد مطالعه از کاوش های عملی باستان‌شناسی به دست آمده باشند و قرارگیری اشیای فلزی مانند سکه در خاک سبب به وجود آمدن درصدی از آهن می‌شود که با آماده‌سازی ابتدایی برای مطالعات XRF از بین نخواهد رفت [21]. از طرفی، درصد آهن کمتر از ۱ درصد در مطالعات نشان می‌دهد وجود عنصر آهن به دلیل خوردگی نیست و در صورتی که این میزان بیش از ۱ درصد باشد، می‌توان حضور آهن را ناشی از خوردگی دانست [22].
Bi	<ul style="list-style-type: none"> • بیسموت یکی از مهم‌ترین عناصر مربوط به نوع اصلی سنگ معدن آن است، به‌ویژه هنگامی که با مس و محتوای نقره ارتباط داشته باشد و محتوای بالای بیسموت ممکن است نشان‌دهنده سنگ معدن غنی از بیسموت باشد [23] مقادیر کمی از بیسموت در نقره ممکن است نوع سنگ معدن استفاده‌شده در تولید سکه را نشان دهد [25]. وجود بیسموت ممکن است به‌عنوان یک شاخص (عنصر ردیاب) برای تعیین محل معدن نقره در مورد سکه‌های نقره‌ای باشد. معادن بزرگ نقره در شمال شرق امپراتوری ساسانیان علاوه بر نقره حاوی طلا و مس اندک و بیسموت فراوانی است [24].
Zn	<ul style="list-style-type: none"> • عدم حضور عنصر روی در تمامی سکه‌های قباد اول می‌تواند نشانگر فن قال‌گذاری^۱ در استخراج نقره باشد [26]. روش قال‌گذاری در فناوری استحصال نقره از هزاره چهارم پیش از میلاد تا به امروز به کار گرفته شده است [27].
Au	<ul style="list-style-type: none"> • بر اساس مطالعات انجام‌شده در صورتی که نقره استفاده‌شده در سکه‌ها از معدن سروسایت استخراج شده باشد، مقدار طلای موجود در آن باید به‌طور تقریبی بین ۰/۲ تا ۱/۵ درصد تغییر یابد، در غیر این صورت، نقره مورد استفاده در ضرب سکه‌ها از معادن گالنا استخراج شده است که درصد طلای موجود در این معادن، کمتر از ۰/۲ درصد است [9]. در این سکه‌ها وجود طلا کمتر از یک درصد محرز گردیده است و تأییدی بر استفاده از معادن سروسایت برای تولید سکه‌هاست.
Cl و Ca	<ul style="list-style-type: none"> • عدم حضور عناصر Ca و Cl در آنالیز سکه‌ها نشان می‌دهد سکه‌های مورد بررسی در زیر خاک مدفون نبوده‌اند.
Ti	<ul style="list-style-type: none"> • وجود تیتانیوم در بعضی از نمونه‌ها احتمالاً نشان‌دهنده استخراج از مناطق آتشفشانی بوده است.

۶. نتیجه‌گیری

۱) پاسخ پرسش اول پژوهش

با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام‌شده، روند همگن و یکنواخت قطر و وزن در ضرب سکه‌ها مشاهده گردید و همچنین بیشتر سکه‌های مورد مطالعه در یک محدوده وزنی قرار دارند، این نتیجه حاصل می‌گردد که در دوره حکومت خسرو پرویز، قالب و معیار مشخصی برای ضرب سکه‌ها وجود داشته است؛ بنابراین احتمال صدور احکام برای ضربخانه‌ها در مورد نحوه یکسان‌سازی در ضرب سکه وجود دارد. همچنین نبود عنصر آرسنیک در بیشتر سکه‌ها نشان‌دهنده ضرب سکه‌ها به وسیله قالب ضرب است و همگنی در وزن سکه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده همین موضوع باشد. همچنین شاخص دیگر که در بررسی فناوری ضرب سکه‌ها مهم است، درصد پایین غلظت سرب در بیشتر نمونه‌ها، خلوص نسبی آن‌ها و متالوژی نسبتاً پیشرفته ساسانی را نشان می‌دهد. بنابر مطالعات صورت گرفته هرچقدر نسبت سرب به نقره (Pb/Ag) کمتر باشد، می‌توان به این نتیجه رسید که فناوری بهتری برای جداسازی سرب از کانی مورد استفاده به کار می‌رفته است. تعداد بالایی از سکه‌هایی که در این پژوهش بررسی شده‌اند، دارای میزان ناچیزی سرب هستند که شرایط مطلوب و کنترل بالا در روند تولید را نشان می‌دهد. پایین بودن درصد عنصر سرب در سکه‌های خسرو پرویز می‌تواند نشان‌دهنده فن قال‌گذاری در استخراج نقره باشد. محدودیت در حد آشکارسازی برای عنصر طلا در نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که مواد خام سکه‌های حاضر از معادن سروسایت در زمان خسرو پرویز استخراج شده است.

۲) پاسخ پرسش دوم پژوهش

بر اساس جدول ۲، در صد نقره نمایش داده‌شده در مطالعات آنالیزی سکه‌ها به روشنی نشان می‌دهند که کیفیت و مهار ضرب سکه، مستقیماً متأثر از زمان ضرب سکه و موقعیت سیاسی حکومت است. مقایسه جدول ۳ و شکل ۸ درصد بالای نقره را در سال‌های اوج قدرت حکومت خسرو پرویز نشان می‌دهد که خود تأییدی بر نوشته‌های تاریخی در مورد این پادشاه است. بر همین اساس، در زمان شروع جنگ‌های مهم خسرو پرویز درصد نقره به بالاترین سطح می‌رسد و سکه‌ها با کیفیت بسیار خوبی ضرب می‌شوند و در حین جنگ‌ها سکه‌ها به تدریج کیفیت اولیه‌شان را از دست می‌دهند. در این مطالعه ذکر شده است که مسائلی مانند مسافت، سختی راه و کمبود امکانات سبب می‌شود که نقره مورد نیاز، از نزدیک‌ترین معدن نقره استخراج گردد. وجود بیش از یک درصد عنصر مس بیانگر افزودن عمدی آن یا به‌منظور افزایش قدرت ضربه‌پذیری سکه‌ها و یا کنترل اوضاع نابسامان اقتصادی بوده است که در این مطالعه افزایش مس در سال‌های جنگ قابل ملاحظه است. نبود عنصر بیسموت در برخی از سکه‌ها و حضور آن در تعدادی دیگر از سکه‌ها، در واقع نشانه‌ای از منابع متفاوت کانسنگ مورد استفاده است. درصد مس پایین در سکه‌های شماره ۵، ۱۵، ۱۶، اصالت این سکه‌ها را زیر سؤال می‌برد، لیکن مطالعه نقوش و نوشته‌های این مسئله را تأیید نمی‌نماید.

۷. سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس‌گزاری خود را از جناب آقای سیدی (امین اموال اداره کل میراث فرهنگی استان همدان) ابراز می‌کنند.

[1] Hojabri Nobari A, Salehi Gruss M. Analysis of Parthian economic-political situation in the last Baromian battle based on the study of silver coins of Khosrow II Parthian using XRF method. Historical sociology. 2017 Jun 10; 9 (2): 1-27 . [in Persian].

[هژبری نویری علیرضا، صالحی گروس مهناز. تحلیل اوضاع اقتصادی-سیاسی اشکانیان در آخرین نبرد خسرو دوم اشکانی با استفاده از روش بارومیان براساس مطالعه مسکوکات نقره. جامعه‌شناسی تاریخی. ۱۳۹۶؛ ۹(۲): ۱-۲۷.]

[2] Ghiyasi Kiarash, A review of photoelectric methods and the interaction of charged particles in order to analyze the ancient coins of the Sassanid period using XRF and. PIXE methods. Master Thesis in Physics, Bu Ali Sina University, 2006 .[in Persian]

[قیاسی کی‌آرش، مروری بر روش‌های فتوالکتریک و برهمکنش ذرات باردار به‌منظور آنالیز سکه‌های باستانی دوره ساسانی به روش های PIXE و XRF، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک، دانشگاه بوعلی سینا ۱۳۸۶.]

[3] Fierascu RC, Fierascu I. Ortan A. Constantin F. Mirea DA. Stasescu M. Complex archaeometallurgical investigation of silver coins from the XVIth-XVIIIth century. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms; 2017. 15;401:18-24.

[4] Eslami Moein. The Application of Portable XRF in Archaeometry and cultural –historical Materials. JRA. 2015; 1 (1) :87-101.[in Persian].

[اسلامی معین، کاربرد دستگاه XRF پرتابل در مطالعات باستان‌سنجی مواد فرهنگی تاریخی. پژوهش باستان‌سنجی. ۱۳۹۴؛ شماره ۱، ۸۷-۱۰۱]

[5] Rautray TR., Nayak SS, Tripathy BB. Das S. Das MR. Das SR. Chattopadhyay PK. Analysis of ancient Indian silver punch-marked coins by external PIXE. Applied Radiation and Isotopes. 2011; 69(10):2011-9.

[6] Göbl R, Aufbau der Münzprägung. F. Altheim and R. Stiehl, Ein Asiatischer Staat. Feudalismus Unter den Sasaniden Und Ihren Nachbarn, Wiesbaden. 1954.

[7] Hughes LR. Coin Identification Training for the Mentally Retarded: A Programmed Instructional Approach to Teach Coin Name Recognition and Recall Skills (Doctoral dissertation, Southern Illinois University, Department of Rehabilitation) 1975.

[8] Meyers P., 2003. Production of silver in Antiquity: ore Type identified based upon elemental compositions of ancient silver artifacts, Patterns and Process. A Festschrift in Honor of Dr. Edward V. Sayre, 271- 288.

[9] Hajivaliei, M., Sodaei, B., Application of X-ray fluorescence spectroscopy (WDXRF) in the study of Sassanid silver coins. Iranian Archaeological Research. 2016 Feb 20; 5 (9): 163-174.[in Persian].

[حاجی ولیئی مهدی، سودایی بیتا. به‌کارگیری روش طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس (WDXRF) در مطالعه سکه‌های نقره‌ای ساسانیان. پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران. ۱۳۹۵؛ ۵(۹)، ۱۶۳-۱۷۴.]

[10] Hajivaliei M., Mohammadifar Yaghoub. Ghiyasi Ki Arash. Lamei Rashti Mohammad. Oliaei Parvin. Study and analysis of 30 silver coins of the Sassanid period of Hamadan Museum using PIXE method. Journal of Archaeological Studies. 2019; 11(1):95-111.[in Persian].

[حاجی ولیئی مهدی، محمدی‌فر یعقوب، قیاسی کی‌آرش، لامعی رشتی محمد، مطالعه و تحلیل ۳۰ سکه نقره‌ای دوره ساسانی موزه همدان با استفاده از روش PIXE، مطالعات ایرانی سال هشتم، پاییز ۱۳۸۸؛ ۱۶(۲)، ۹۵-۱۱۱.]

[11] Khademi Nadooshan F, Khazaie M. Probable sources and refining technology of Parthian and Sasanian silver Coins. Interdisciplinaria archaeological. 2011;2(2):101-7.

[12] Sabzali M , Goodarzi A.. Khazaei M.. Khademi Nodooshan F., Study of the economic situation of the Parthians during the period of Mehrdad I and Mehrdad II based on the testing of silver coins by XRF device. Journal of Archaeological Message, 2010; p 91- 101. [in Persian]

- [سبزعلی مهدی، علیرضا گودرزی. مصطفی خزایی. فرهنگ خادمی ندوشن. مطالعه وضعیت اقتصادی اشکانیان در دوران مهرداد اول و مهرداد دوم براساس آزمایش سکه‌های نقره به‌وسیله دستگاه XRF مجله پیام باستان‌شناسی. ۱۳۸۹؛ (۷)، ۹۱-۱۰۱].
- [13] Bakhtiari Z, Analysis and comparison of the economic situation during the reign of Ghobad I and Khosrow II Sassanid Based on laboratory analysis of coins. Bu Ali Sina University: Supervisor Yaghoub Mohammadifar, Consultant Professor Sharareh Sadat Mirsafdari, 2021.[in Persian].
- [زهرآ بختیاری، تحلیل و مقایسه وضعیت اقتصادی دوران پادشاهی قباد اول و خسرو دوم ساسانی براساس آنالیز آزمایشگاهی سکه‌ها. دانشگاه بوعلی سینا: استاد راهنما: یعقوب محمدی‌فر. استاد مشاور: شراره‌سادات میرصفدری، ۱۴۰۰].
- [14] Christine Sen Arthur, The Reign of Ghobad and the Rise of Mazdak. translated by Ahmad Birshak. Tahoori Librar;1995 [in Persian]
- [کریستین سن آرتور، سلطنت قباد و ظهور مزدک. ترجمه: احمد بیرشک. کتابخانه طهوری؛ ۱۳۷۳]
- [15] Frye R.N. The Sassanians The Cambridge Ancient History XII. Cambridge University Press: Cambridge: 2005؛ p 461-480. [in Persian].
- [فرای ف، ساسانیان. تاریخ باستان کمبریج دوازدهم. انتشارات دانشگاه کمبریج: کمبریج ۱۹۴۴؛ ۴۶۱-۴۸۰].
- [16] Arthur Emanuel Christensen., L'Iran sous les Sassanides, Copenhagen1944 Vol.1, p.452. [in Persian]
- [آرتور امانوئل کریستنسن، ایران در زمان ساسانیان: کینهاگ؛ ۱۹۴۴].
- [17] Beate Dignas and Engelbert Winter, 2007, Rome and Persia in late antiquity, Cambridge .
- [18] Kianzadegan S, Rajaei S.J. Masjidi Khak P. Saadat Mehr M.A., Elemental Analysis of Victorious Sassanid Coins by PIXE Method, Case Study: Victory Treasure Coins Discovered from the Village of Tis, Iran Iranian Arch. Research: 2019؛ Vol.9, No. 22, 181-196. [in Persian].
- [کیان‌زادگان سوسن، رجایی سید جلال. مسجدی خاک پرستو. سعادت مهرمحمد امین. تجزیه عنصری سکه‌های پیروز ساسانی به‌روش پیکسی (PIXE). مطالعه موردی: سکه‌های گنجینه پیروز کشف‌شده از روستای تیس چاپهار. پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران. ۱۳۹۸؛ (۲۲): ۹: ۱۸۱-۱۹۶].
- [19] Hojabri A., Salehi Gross M.. analysis of the economic-political situation of the Parthians in the last battle with the Romans based on the study of silver coins of Khosrow II Parthian using the .XRF method of the Historical Archaeological Society. 2017؛9(2):1-27.[in Persian].
- [هژبری علیرضا، صالحی گروس مهناز. تحلیل اوضاع اقتصادی-سیاسی اشکانیان در آخرین نبرد با رومیان براساس مطالعه مسکوکات نقره خسرو دوم اشکانی با استفاده از روش XRF. جامعه باستان‌شناسی تاریخی، ۱۳۹۶؛ ۹(۲): ۱-۲۷].
- [20] Sodaei B, Kashani P. Application of PIXE Spectrometry in determination of chemical composition in Ilkhanid silver coins. IANSA .2013؛ (1): 105- 109.[in Persian].
- [سودایی بیتا، کاشانی پ. کاربرد طیف‌سنجی PIXE در تعیین ترکیب شیمیایی در سکه‌های نقره ایلخانی، IANSA، ۱۳۹۲؛ ۱-۱۰۵-۱۰۹].
- [21] Kantarelou A, X-ray Fluorescence analytical criteria to assess the fineness of ancient silver coins. Application on Ptolemaic coinage Spectrochimica Acta. Part B. 2011؛Vol. 66, 681 – 690.
- [22] Flament C, and Marchetti P. Analysis of ancient silver coins, Nucl. Inst.and Meth B؛2004 226, 179-184.
- [23] Kallithrakas-Kontos A, Katsanos A.A. Touratsoglou J. Nucl Inst and Meth in Phys Res؛2004؛ B 171, 342-349.
- [24] Touraj Daryaeae, Sassanids and the Persian Gulf (our sea). Translation: Haidar Amiri.Quarterly Journal of Foreign Relations History: 2019(80): 123-144.
- [دریایی تورج، ساسانیان و خلیج فارس (دریای ما). ترجمه حیدر امیری. فصلنامه تاریخ روابط خارجی. ۱۳۹۸؛ (۸۰): ۱۲۳-۱۴۴]

[25] Khademi Nadooshan F, Mohaghegh M., Hojabri A. Masjedi Khak P. A Study of the Political-Economic Situation of the Parthian Government in the years 2-57 BC. (During the reigns of Ard II and Farhad IV) Based on the study of the chemical composition of silver coins by laboratory method. PIXE Archaeological Research of Iran 2015؛ (8)5: 53-66.[in Persian].

[خادمی ندوشن فرهنگ، محقق مریم. هژبری علیرضا. مسجیدی خاک پرستو. بررسی اوضاع سیاسی - اقتصادی حکومت اشکانیان در سال‌های ۲-۵۷ ق.م. (دوران پادشاهی ارد دوم و فرهاد چهارم) براساس مطالعه ترکیبات شیمیایی سکه‌های نقره با روش آزمایشگاهی PIXE. پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران: ۱۳۹۴؛ (۸) ۵: ۵۳-۶۶]

[26] Salehi Garuss Mahnaz, Archaeological analysis of Parthian historical-economic developments in the second century AD based on chemical analysis of coins minted in the Mad (Hegmataneh) mint, PhD thesis. Tarbiat Modares University, Faculty of Humanities:2014. [in Persian].

[مهناز صالحی گروس، تحلیل باستان‌شناختی تحولات تاریخی - اقتصادی اشکانیان در قرن دوم میلادی براساس آنالیز شیمیایی مسکوکات ضرب‌شده در ضربخانه ماد (هگمتانه). پایان‌نامه دکتری: دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی؛ ۱۳۹۳.]

[27] Salehi, Amir Hossein, Elemental analysis of patriarchal coins to understand the economic and political situation of the time under study by PIXE method Ph.D. thesis in archeology. Tarbiat Modares University:2014.[in Persian].

[صالحی امیرحسین، تجزیه عنصری سکه‌های ایلخانی جهت پی‌بردن به وضعیت اقتصادی و سیاسی زمان مورد مطالعه با روش PIXE. دکتری رشته باستان‌شناسی. دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۹۳.]

پی‌نوشت

۱. با توجه به محدودیت‌های مطالعات اشیای موزه، تنها مجال برای مطالعه XRF سکه‌ها فراهم بوده و امکان مطالعات فیزیکی مجدد سکه‌ها توسط نویسندگان امکان‌پذیر نبود و اطلاعات قطر، ضخامت و وزن سکه‌ها از پایگاه داده موزه گرفته شده است.
۲. با توجه به خوانش تاریخ ضرب سکه از روی سکه‌های مورد مطالعه، نویسندگان مقاله تاریخ را بر این اساس ذکر کرده‌اند، هرکدام از این تاریخ‌ها با ۵۹۱ میلادی جمع گردد تاریخ ضرب سکه‌ها به میلادی به‌دست می‌آید. برای مثال $۳۷+۹۱=۳۲۸$ میلادی.
۳. نتایج آنالیز سکه‌ها به‌صورت میانگین ذکر شده است.
۴. سال‌ها بر اساس آنچه در جدول اشاره شده بر اساس حکومت خسرو پرویز ذکر شده که با جمع آن‌ها با عدد ۵۹۰ میلادی سال وقایع بر اساس میلادی به‌دست می‌آید، برای مثال ۳۲ سال بعد از حکومت خسرو پرویز $۳۲+۵۹۰=۶۲۲$ میلادی.
۵. قال گذاری. [گ] [حامص مرکب] (اصطلاح فیزیکی) عمل ذوب طلا و نقره در بوتله و تصفیه آن‌ها از مواد زائد.