

بررسی اوضاع سیاسی - اقتصادی حکومت اشکانیان در سال‌های ۲-۵۷ ق.م. (دوران پادشاهی ارد دوم و فرهاد چهارم) براساس مطالعه‌ی ترکیبات شیمیایی سکه‌های نقره با روش آزمایشگاهی PIXE

فرهنگ خادمی‌ندوشن

استاد گروه باستان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

مریم محقق

کارشناسی‌ارشد باستان‌شناسی

mrm.mohaghegh@gmail.com

علیرضا هژبری‌نوبری

استاد گروه باستان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

پرستو مسجدی‌خاک

دکترای باستان‌شناسی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۰۲

(از ص ۵۳ تا ۶۶)

چکیده

باستان‌سنجی یا آرکئومتری^۱ شاخه‌ای نسبتاً جدید از علم باستان‌شناسی است که در آن یافته‌های باستانی توسط شیوه‌های مختلفی از روش‌های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار می‌گیرند. سکه‌های تاریخی، از جمله داده‌های سودمند باستان‌شناسی است. سکه، معیار سودمندی برای شناخت مقیاس‌ها و اوزان در ادوار گذشته به‌شمار می‌رود، حتی با مطالعه‌ی شهرهایی که سکه در آن‌ها ضرب شده جغرافیای تاریخی آن مناطق را، می‌توان با دقت بیشتری ترسیم و تدوین نمود. در این پژوهش، مجموعه‌ی ۱۵ سکه‌ی نقره متعلق به «اُرد دوم» و «فرهاد چهارم» (۲-۵۷ ق.م.) با استفاده از روش آزمایشگاهی «پیکسی»، مورد طیف‌سنجی قرار گرفت. این ارزیابی، مبنی بر این فرض است که عناصر نادر موجود در سکه‌ها، به‌ویژه عنصر طلا، می‌توانند به‌عنوان شاخصی برای بررسی تعدد معادن در نظر گرفته شوند؛ هم‌چنین میزان غلظت عناصر، می‌تواند در تحلیل شرایط سیاسی و اقتصادی دوره‌ی مورد مطالعه، سودمند واقع شود. نتایج مطالعات نشان داد که در دوره اشکانی از معادن متعدد در ضرب سکه‌های نقره استفاده شده است. میزان بالای نقره در سکه‌های اُرد دوم نسبت به سکه‌های فرهاد چهارم به وضعیت مساعد اقتصادی در دوره‌ی این پادشاه اشاره دارد، هم‌چنین نوسانات زیاد در سکه‌های فرهاد چهارم که در ضرب‌خانه‌ی میتردات‌کرت به ضرب رسیده‌اند، در مقایسه با سکه‌های اُرد دوم که در ضرب‌خانه‌های اکباتان و لائودیسه ضرب شده، بیان‌گر تفاوت شرایط سیاسی - اقتصادی مناطق غربی و شرقی کشور، در زمان فرهاد چهارم می‌باشد.

کلیدواژگان: اشکانیان، سکه، نقره، معدن، ترکیبات شیمیایی.

مقدمه

در اوایل دهه ۶۰ م. تحولی در باستان‌شناسی به وجود آمد که خود قدم مثبتی در جهت مطالعات این رشته محسوب می‌شد. این اقدام با عنوان "باستان‌شناسی نو" (Johnson, 1999: 12) از آمریکا شروع شد و بعدها به کشورهای اروپایی هم چون انگلیس، فرانسه و آلمان نیز، نفوذ کرد. با ظهور باستان‌شناسی نو، از متخصصان رشته‌های دیگر، در جهت مطالعه‌ی داده‌های باستانی استفاده می‌شود و در نتیجه قدم‌هایی در جهت باستان‌سنجی از این دهه برداشته می‌شود و از علم باستان‌سنجی در جهت شناسایی و منشاء‌یابی داده‌های باستانی، بازسازی و جستجوی تکنولوژی و تبادلات تجاری منطقه‌ای و فرمانطقه‌ای، تاریخ‌گذاری اشیاء و محوطه‌ها و بررسی وضعیت سیاسی و اجتماعی جوامع گذشته، مطالعه DNA و تعیین رژیم غذایی مردمان گذشته استفاده می‌شود (Grant, Gorin & Flem- ing 2002: 64-65). در نتیجه‌ی رواج مطالعات باستان‌سنجی، از روش‌های مختلف مانند «ایکس آر اف»، «ایکس آردی»، «پیکسی»، «روش فعال‌سازی نوترونی» و «روش جذب اتمی» در مطالعات داده‌های باستانی و ترکیبات عنصری آن‌ها استفاده می‌شود.

در این مطالعه از میان تکنیک‌های آنالیز غیرمخرب مثل پیکسی، ایکس آر اف و ای پی ام آ، از تکنیک پیکسی بدلیل سریع و حساس بودن آن برای مطالعه‌ی سکه‌ها استفاده شده است، دستگاه پیکسی با توجه به غیرمخرب بودن و دقت بالایی که دارد امروزه در مطالعات باستان‌سنجی بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Tripathy, 2010). تجزیه‌ی عنصری فلزات، اطلاعات با ارزشی درباره‌ی ترکیبات آلیاژها و گاهی اوقات راه‌هایی برای شناسایی منشاء فلزات فراهم می‌سازد (Guerra et al, 2008). در سکه‌شناسی تعیین ترکیبات اصلی آلیاژ برای شناخت عیار اصلی سکه‌ها دارای اهمیت است. تناسب نسبی عناصر اصلی، اطلاعات با ارزشی درباره تغییرات سیستم پولی، شرایط اقتصادی، سیاسی و تکنولوژی ضرب سکه فراهم می‌کند (Beck et al, 2004).

در این نوشتار، سعی بر آن است که با بررسی سکه‌های اُرد دوم و فرهاد چهارم با روش پیکسی، به این موضوع پرداخته شود که چگونه عناصر موجود در سکه‌های دوره‌ی مورد مطالعه می‌توانند در تعیین تعدد معادن به کار رفته برای تولید این سکه‌ها و تحلیل شرایط سیاسی-اقتصادی مورد استفاده قرار گیرند.

پیشینه پژوهش

اولین بار «کلی» (Caley)، شیمیدان آمریکایی، سکه‌های اشکانی را به روش آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داد. او بر روی مجموعه‌ای شامل ۳۰۰ سکه متعلق به اُرد دوم کار کرد. بررسی او جهت پی بردن به وضعیت اقتصادی شاهان اشکانی از طریق آزمایش عنصر مس، به‌عنوان آلیاژی که به سکه‌های نقره‌ای اضافه شده بود، انجام گرفت (Caley, 1955)؛ همچنین این پژوهشگر در مقاله‌ای، با آزمایش تعدادی دیگر از مسکوکات نقره و مس اشکانی، میزان عناصر آن را با پادشاهان هم‌زمان در «روم» مقایسه و به تحلیل آن پرداخت. او نتیجه گرفت که احتمالاً در زمان «اُرد» به علت جنگ‌های ایران و روم و شرایط بد اقتصادی،

سکه‌های برنزی پادشاهان گذشته ذوب و در سکه‌های نقره‌ی این دوره به منظور افزایش حجم فلز نقره به کار رفته است (Caley, 1950).

از پژوهشگران داخلی در این زمینه، می‌توان به مطالعات «فرهنگ خادمی‌ندوشن» اشاره کرد که مسکوکات بسیاری از پادشاهان اشکانی را مورد طیف‌سنجی قرار داده است. در مطالعات، ایشان استانداردهای نقره‌ی موجود در مسکوکات تعدادی از پادشاهان اشکانی و همچنین ویژگی معادن فلزی استخراج شده برای استفاده در ضربخانه‌ها مشخص شده است (Khademi, 2005)؛ خادمی و دیگران، ۱۳۹۰؛ هم‌چنین وی، در پژوهشی که روی مسکوکات موزه‌های لرستان و مشکین‌شهر انجام داده، به معرفی جلیاتی که در مسکوکات اشکانیان صورت می‌گرفت، پرداخته است (Khademi, 2006).

وی، در پژوهش دیگری بر روی سکه‌های نقره‌ی دوران اشکانی و ساسانی، بیان می‌کند که کمبود نقره در سکه‌های اشکانی در بعضی دوره‌ها نشان دهنده‌ی این است که احتمالاً اشکانیان در بحران‌های سیاسی-اقتصادی، درصد نقره‌ی سکه‌ها را کاهش می‌دادند؛ اما ساسانیان در شرایط سخت میزان نقره را ثابت نگه می‌داشتند و به‌منظور مقابله با بحران‌ها به‌جای کاهش میزان نقره، مالیات را افزایش می‌دادند (Khademi et al. 2011).

«بیتا سودایی» نیز، حدود ۲۰ سکه‌ی نقره‌ی یک درهمی از اُرد دوم و فرهاد چهارم را با دستگاه پیکسی مورد طیف‌سنجی قرار داده است؛ وی به تحولات تاریخی دوره‌ی اشکانی براساس سکه‌ها پرداخته است (سودایی، ۱۳۸۹: ۱۳۸). «یعقوب محمدی‌فر»، به آنالیز چند نمونه از سکه‌های یک درهمی اشکانیان و ساسانیان به روش پیکسی پرداخته است و به تأثیر شرایط اقتصادی بر عیار نقره‌ی سکه‌ها اشاره می‌کند (محمدی‌فر و دیگران، ۱۳۸۸).

وضعیت سیاسی اشکانیان در دوره‌ی حکومت اُرد دوم و فرهاد چهارم

در سال ۵۷ ق.م. اُرد دوم با از بین بردن پدرش فرهاد سوم و پیروزی بر رقیب و برادر خود مهرداد، به حکومت رسید. هم‌زمان با حکومت اُرد، کراسوس سردار رومی در سال ۵۵ ق.م. روم را به‌منظور به‌دست گرفتن فرماندهی سپاه در سوریه ترک کرد و از سوی دیگر، در همین زمان مهرداد بر بابل تسلط یافت. کراسوس هدف از لشکرکشی خود را حمایت از مدعی بر حق حکومت اشکانی، مهرداد، که با رومیان موافق بود می‌دانست (بیوار، ۱۳۸۰: ۱۵۱-۱۵۰). در پی این لشکرکشی، معروف‌ترین نبرد بین ایران و روم در زمان حکومت اُرد به وقوع پیوست که به جنگ کرهه یا حَرن معروف است (مشکور، ۱۳۵۰: ۲۱۵). این نبرد به فرماندهی سورنا، سردار اُرد با کراسوس و شکست سپاه روم پایان یافت. در نتیجه‌ی این پیروزی، رود فرات مرز بین ایران اشکانی و روم قرار گرفت (ولسکی، ۱۳۸۳: ۱۵۱-۱۴۸). هرچند علم تاریخ، روایتی رسمی از نبرد کرهه و تدارکات اشکانیان در اختیار ندارد؛ اما می‌دانیم که این نبرد تأثیر بسزایی بر ایرانیان داشته است که در پی آن، ایران از نظر سیاسی به حکومتی مقتدر در برابر امپراتوری روم تبدیل شد (ولسکی، ۱۳۸۳: ۱۵۱). این وقایع بازتاب‌هایی نیز، در زمینه‌ی اقتصاد داشتند، از جمله آن که دروازه‌های مهم تجاری پارت ناگهان از رونق افتاد. به درستی مشخص

نیست که جنگ حران چه منافعی برای سورنا و اُرد داشت، اما این موضوع که بعضی از سکه‌های شاهزادگان پارس دست‌نشانده‌ی اشکانیان بر روی سکه‌های کراسوس ضرب شده، نشان‌دهنده‌ی گستردگی انتقال پول است؛ هم‌چنین غناپم جنگی خزانه‌ی دولت را پر کردند (ورستاندیک، ۱۳۸۶: ۲۰۸). در سال ۳۸ ق.م. پاکر، پسر اُرد به سوریه لشکر کشید؛ او که رومیان را ناتوان می‌پنداشت، به لشکرگاه آن‌ها حمله کرد، اما تلفات زیادی داد و خود او نیز، در این نبرد کشته شد. مرگ او ضربه‌ی سختی به اُرد وارد کرد و سبب ایجاد دو دستگی برای انتخاب جانشین شاه شد. اُرد، فرهاد چهارم را به‌عنوان جانشین خود انتخاب کرد و او در سال ۳۸/۳۹ ق.م. به حکومت رسید (بیوار، ۱۳۸۰: ۱۵۹-۱۵۸). در این دوره حکومت اشکانی با شورش‌های متعدد اشراف، مشاجرات دودمانی و ظهور مدعیان غاصب روبه‌رو بود؛ علاوه‌بر این، مرزهای آن‌ها نیز، همواره مورد تهدید قرار داشت. در زمان فرهاد چهارم، جنگی بین ایران و روم به فرماندهی آنتونیوس (مارک آنتونی) آغاز شد که نهایتاً به پیروزی اشکانیان انجامید (ولسکی، ۱۳۸۳: ۱۶۰). در پی این پیروزی، فرهاد دستور داد بر روی سکه‌هایی که از رومیان به‌دست آورده بود و نقش آنتونیوس و کلئوپاترا را داشتند، نقش خود را حک کنند. به این ترتیب، اشکانیان با آن‌که درگیر آشوب‌های داخلی شدیدی بودند، توانستند سیاست خود را به‌عنوان قدرتی بزرگ در برابر روم ثابت نگاه‌دارند (همان: ۱۶۴). مدتی بعد، رفتار نامناسب و خشونت فرهاد، خشم مردم را برانگیخت و سبب قیام آن‌ها و تبعید فرهاد شد؛ در این زمان فردی به‌نام تیرداد حکومت را به‌دست گرفت. فرهاد از کشورهای همسایه درخواست کمک کرد و سرانجام سکاها به او در پس گرفتن تختش یاری کردند. به نظر می‌رسد، تیرداد بار دیگر برای به‌دست آوردن قدرت تلاش کرده؛ زیرا در سال ۲۶ ق.م. سکه‌های چهار درهمی با لقب "دوست‌دار رومیان" ضرب شده که به او نسبت داده می‌شود؛ هم‌چنین این موضوع را که فرهاد دستور داد زنان او را بکشند، ناشی از حمله‌ی تیرداد می‌دانند که شاه اشکانی این کار را برای جلوگیری از اسارت حرم‌سرای خود به‌دست تیرداد انجام داده است. با این وجود، براساس سکه‌ها فرهاد در سال ۲۶ ق.م. به قدرت بازگشت. در سال ۲۰ ق.م. فرهاد بیرق‌ها و اسرای رومی را بازگرداند (بیوار، ۱۳۸۰: ۱۶۶-۱۶۵). در مقابل، امپراتور آگوستوس کنیزی به‌نام موزا برای فرهاد فرستاد که توانست به مقام ملکه ارتقا یابد. موزا، پس از به قدرت رساندن فرزندش فرهاد پنجم-فرهادک- (۳/۲ ق.م. تا ۴ م.) فرهاد را مسموم کرد و بدین ترتیب، دوره‌ی حکومت او به پایان رسید (ولسکی، ۱۳۸۳: ۱۶۷-۱۶۶).

سکه‌های اُرد دوم و فرهاد چهارم

بر روی درهم‌های اُرد، نشانی در کنار اُبروی شاه دیده می‌شود که محققان آن را به خال یا زگیل تعبیر کرده‌اند. «سلوود»، وجود زگیل یا برآمدگی را نشان ویژه‌ای برای اطمینان از وجود خون اشکانی در پادشاهان بعدی می‌داند؛ هم‌چنین نقش‌هایی چون ماه و ستاره (گاه یک ستاره، گاه یک ماه و ستاره و گاهی یک ماه و دو ستاره) بر روی سکه‌ها دیده می‌شود، احتمال می‌رود این نشانه‌ها به معنای این باشد که اُرد برادر خورشید و ماه است، اما احتمال بیشتر آن‌ست که

این چنین نمادهایی را برای تسهیل در کار دیوانسالاری به کار می‌گرفته‌اند (بیوار، ۱۳۸۰: ۳۹۳-۳۹۲). «سرفراز»، در مورد نقش ماه و خورشید چنین بیان می‌کند که معنی و مفهوم آن‌ها به‌درستی مشخص نیست، اما بعضی محققان این علایم را نماد آناهیتا و مهر دانسته‌اند (سرفراز، ۱۳۸۷: ۲۸). در تمام سکه‌های این پادشاه، شخصیت پشت سکه بر روی تخت پادشاهی خاص ایران باستان نشسته است. القاب اُرد، در کتیبه‌ی پشت سکه‌ها عبارتند از: "شاهنشاه، نیکوکار، دادگر، مظهر خدا، دوست‌دار یونان" که این القاب به مدت دو قرن و نیم بعد، بر همه‌ی سکه‌های نقره دیده می‌شود. بر روی درهم‌های فرهاد چهارم نیز، تصویر فرهاد بر روی همه‌ی سکه‌ها با زگیل یا خالی بر ابرویش دیده می‌شود. ویژگی بارز سکه‌های فرهاد، علاوه‌بر نقش زگیل یا خال و گردن پوش مخطط، شاهین یا عقابی‌ست که غالباً در پشت سر تصویر پادشاه دیده می‌شود و بعدها نیز، نقش ستاره و هلال به آن افزوده می‌گردد (بیوار، ۱۳۸۰: ۳۹۴-۳۹۳). «بیانی»، ماه و ستاره را نشانه‌ی اشکانیان و نقش شاهین یا عقاب را نشانه‌ی فر شاهی می‌داند (بیانی، ۲۵۳۷: ۳۰).

مجموعه‌ی مورد مطالعه در این نوشتار، شامل پانزده سکه‌ی درهم است که چهار عدد از آن‌ها به اُرد دوم تعلق دارد و در ضرابخانه‌های شوش، اکباتان، ری و میتردات‌کرت به ضرب رسیده‌اند. در بین این سکه‌ها، سکه‌ی ضرب شده در اکباتان فاقد نقش خال است و در سکه‌ی ضرب شده در میتردات‌کرت به‌دلیل فرسایش، نقش خال قابل تشخیص نمی‌باشد. این نقش در دو سکه‌ی دیگر وجود دارد؛ هم‌چنین سکه‌ی ضرب شده در ری، دارای نقش ستاره در مقابل پادشاه و نقش ماه و ستاره در پشت سر او می‌باشد. در سکه‌های ضرب شده در شوش و میتردات‌کرت، نقش یک ستاره و ماه، به ترتیب در مقابل و پشت سر پادشاه دیده می‌شود و سکه‌ی ضرب شده در اکباتان، فاقد نقش ماه و ستاره است. از مجموع یازده سکه‌ی درهمی که به فرهاد چهارم تعلق داشتند، هفت سکه در میتردات‌کرت، سه سکه در اکباتان و یک سکه در لاؤدیسسه به ضرب رسیده است. بر روی سه سکه از میتردات‌کرت، نقش نیکه با حلقه‌ای که برفراز سر پادشاه نگه‌داشته، دیده می‌شود و در مقابل پادشاه نقش ماه و ستاره وجود دارد. تصویر عقابی که حلقه را به منقار گرفته و بالای سر پادشاه نگه‌داشته است، بر روی سکه‌های ضرابخانه‌های مختلف نقش شده است که در مواردی این نقش همراه با ماه و ستاره در مقابل پادشاه (میتردات‌کرت)، یا ستاره (میتردات‌کرت) و یا فاقد نقش ماه و ستاره (میتردات‌کرت، اکباتان و لاؤدیسسه) است. پشت سکه‌های هر دو پادشاه، دارای نقش فردی - احتمالاً ارشک - نشسته بر روی تخت است؛ در حالی که کمانی - نشانه‌ی پادشاهی در ایران باستان - را به‌دست گرفته است. عبارت نوشته شده در پشت سکه‌های هر دو پادشاه "شاهنشاه، ارشک، نیکوکار، دادگر، مظهر (خدا)، دوست‌دار یونان" است. این عبارت، تنها در مورد سکه‌ی شماره‌ی یک، اُرد که در اکباتان به ضرب رسیده متفاوت است؛ در پشت این سکه عبارت "شاهنشاه، دوست‌دار پدر، دادگر، مظهر (خدا)، دوست‌دار یونان" دیده می‌شود؛ اگرچه، با توجه به تعداد کم سکه‌ها، نمی‌توان الگوی مطالعاتی دقیقی

۱. در سکه‌های شماره‌ی ۳ و ۸ فرهاد چهارم به علت فرسایش، نقش عقاب به وضوح دیده نمی‌شود، در سکه‌ی شماره ۳ این فرسایش شدیدتر است اما به علت خوردگی قابل توجه سکه، نگارنده معتقد است نقش عقاب در این سکه نیز وجود داشته است.

در مورد نقوش به کار رفته در سکه‌ها ارائه داد، اما در بررسی سکه‌های هر دو پادشاه، می‌توان نتیجه گرفت که نقش ماه و ستاره در ضربانخانه‌های اکباتان و لائودیسه - ضربانخانه‌های غرب امپراتوری اشکانی - دیده نمی‌شود. همچنین نقش نیکه در سکه‌های فرهاد چهارم، تنها در ضربانخانه‌ی میترداد کرت تصویر شده است. در این دوره نقش حلقه‌ای که بر فراز سر پادشاه قرار دارد دارای اهمیت است، این حلقه گاه همراه نیکه و گاهی با عقاب نقش شده است. وجود این نقش بر سکه‌های اکباتان که فاقد نقش ماه و ستاره هستند، می‌تواند نشان‌گر ارجحیت مفهوم آن بر نقش ماه و ستاره باشد.

آماده‌سازی نمونه‌ها

سکه‌های مطالعه شده در این پژوهش، از مجموعه‌ی شخصی «محمد صفار» انتخاب شده است. مجموعه‌ی انتخاب شده شامل ۱۵ سکه‌ی یک درهمی است که ۴ سکه به اُرد دوم و ۱۱ سکه به فرهاد چهارم تعلق دارد؛ ۴ سکه در ضربانخانه‌ی اکباتان، ۸ سکه در ضربانخانه‌ی میترداد کرت و ۳ سکه‌ی دیگر در ضربانخانه‌های شوش، ری و لائودیسه به ضرب رسیده است. سکه‌ها، توسط نگارنده به مدت ۲۴ ساعت در «استون» قرار داده شده و سپس با آب مقطر پاک‌سازی شده است. مجموعه‌ی سکه‌ها، پس از خشک شدن در هوای آزاد، به آزمایشگاه «واندوگراف» سازمان انرژی اتمی ایران منتقل شد و با دستگاه پیکسی مورد تجزیه عنصری قرار گرفت.

روش پیکسی

روش پیکسی، روش آنالیز عنصری غیرمخرب دقیق و قدرتمندی است که در زمینه‌های مختلفی از جمله باستان‌شناسی کاربرد دارد. پیکسی، برای مطالعه‌ی اشیای باستانی به‌ویژه سکه، تکنیک مناسبی است؛ زیرا حساسیت بالایی دارد و نسبتاً سریع و غیرمخرب است (Linke, 2004: 173). در مقایسه با دیگر شیوه‌های آنالیز که به تخریب نمونه، استخراج مواد شیمیایی و دیگر شیوه‌های آماده‌سازی قبل از آنالیز نیازمند هستند، مزیت پیکسی بیشتر است؛ به‌خصوص زمانی که تعداد قابل توجهی از اشیای آنالیز شوند (Roumiéet al. 2003: 196). پیکسی، برای انجام انواع آنالیزها مناسب است؛ زیرا اجازه می‌دهد از مناطق مختلف، نمونه چندین اندازه‌گیری انجام شود (Weber, 2000: 725). این روش، برای تعیین ترکیبات شیمیایی، شیوه‌های ساخت و منشأ فلزات باستانی به ما کمک می‌کند (Khademi et al. 2011). در این روش هنگامی که پرتو پروتون به سکه برخورد می‌کند، باعث یونیزاسیون اتم‌ها در سکه و گسیل اشعه‌ی ایکس مشخصه‌ی عنصر مورد نظر می‌شود. اشعه‌های ایکس گسیل شده در آشکارساز جمع‌آوری شده و سیگنال‌هایی با شدت‌های مختلف را نتیجه می‌دهد (Gaschen, 2008). آنالیز طیف را با استفاده از نرم‌افزار «گوپیکس»^۱ انجام می‌دهیم که یک روش پارامتری برای آنالیز کمی به ما ارائه می‌دهد و در همه‌جا، به‌طور متداول برای آنالیز طیف‌های پیکسی استفاده می‌شود؛ برای آنالیز ابتدا، باید ماتریکس هدف

۱. GUPIX: برنامه‌ی گوپیکس با استفاده از پارامترهای فیزیکی معلوم، مثل سطح مقطع یونیزاسیون اشعه‌ی ایکس، جرم کاهش یافته‌ی موثر و بهره‌ی فلورسانسی طیف را آنالیز می‌کند.

را مشخص کنیم؛ منظور از ماتریکس، این است که بیشترین درصد مربوط به کدام عنصر است. در این مقاله، بیشترین عنصر نقره می‌باشد. در مقدار درصد نهایی ۳-۵ درصد خطا، ناشی از پارامترهای اساسی کالیبراسیون و عدم تمیزی سطح سکه مورد انتظار است (حاجی‌ولیی، ۱۳۸۸). سکه‌های مورد مطالعه در این پژوهش، توسط دستگاه پیکسی سازمان انرژی اتمی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند که نتیجه‌ی آن به شرح زیر است (جدول ۱).

جدول ۱: درصد غلظت عناصر در سکه های ارد دوم و فرهاد چهارم با روش پیکسی (نگارندگان، ۱۳۹۳).

Sample	Al	Si	P	S	Cl	Ca	Ti	Fe	Ni	Cu	Ag	Au	Pb
1	-	-	-	-	0.51	0.53	-	-	-	4.14	93.65	0.52	0.65
2	-	1.29	-	-	0.53	0.65	-	0.10	-	4.71	90.95	0.41	1.36
3	0.40	1.12	-	-	5.20	0.35	-	0.08	-	3.66	88.03	0.68	0.48
4	-	1.17	-	0.52	1.36	1.35	-	0.70	-	6.19	87.29	0.53	0.89
5	-	0.26	-	0.92	0.73	-	-	0.13	-	4.76	91.66	0.76	0.78
6	-	0.53	1.06	-	1.03	0.49	-	-	0.04	6.08	89.54	0.56	0.67
7	0.56	0.95	-	1.24	0.93	0.48	-	0.12	-	4.09	90.73	0.51	0.39
8	-	1.02	-	-	5.28	0.64	-	0.15	0.08	15.72	76.05	0.39	0.67
9	0.73	5.06	0.34	0.33	8.02	1.31	0.07	0.78	0.08	25.61	56.58	0.52	0.57
10	0.42	1.70	-	-	9.94	0.96	-	0.21	0.05	13.54	71.92	0.44	0.82
11	-	0.64	1.11	-	0.36	0.63	-	0.09	-	8.14	86.49	0.44	2.1
12	-	1.9	-	0.46	1.34	1.1	-	0.19	0.03	6.64	86.13	0.72	1.49
13	-	2.04	-	-	17.47	0.5	-	0.27	-	6.12	72.46	0.86	0.28
14	-	1.92	-	-	5.8	0.9	-	0.16	0.09	26.17	63.91	-	1.05
15	-	1.95	-	-	16.56	0.51	-	0.09	0.06	16.88	61.8	0.31	1.84

Fe	Pb	Cu	Au	Ag	وزن سکه	ضرابخانه	تصویر سکه	سکه‌های ارد دوم
-	۰.۶۵	۴.۱۴	۰.۵۲	۹۳.۶۵	۳.۹۱	اکباتان		۱
۰.۱۰	۱.۳۶	۴.۷۱	۰.۴۱	۹۰.۹۵	۳.۷۴	شوش		۲
۰.۰۸	۰.۴۸	۳.۶۶	۰.۶۸	۸۸.۰۳	۳.۸۳	میترداد کرت		۳
۰.۷۰	۰.۸۹	۶.۱۹	۰.۵۳	۸۷.۲۹	۳.۳۲	ری		۴

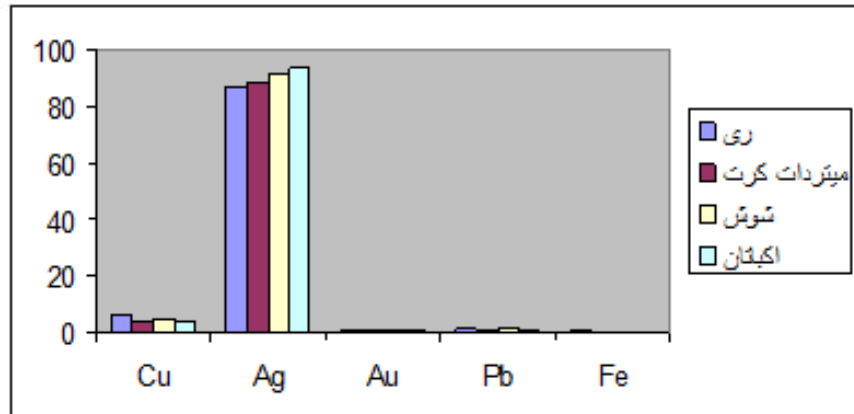
▲ جدول ۲: مشخصات درهم‌های ارد دوم (نگارندگان، ۱۳۹۳).

بحث

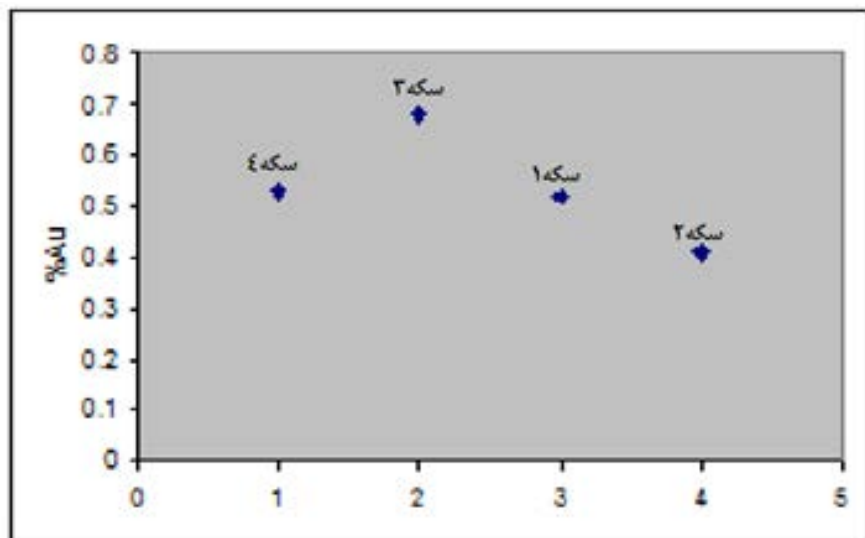
آزمایش‌هایی که به‌منظور مشخص شدن ترکیبات شیمیایی سکه‌های نقره‌ای دوره‌های باستان صورت می‌گیرد، می‌توانند در تشخیص عناصر موجود در نقره و یا سنگ معدن آن به ما کمک کنند. عناصری مانند آرسنیک، آنتیموان، مس، روی و قلع هنگام استخراج، از نقره جدا می‌شوند و میزان غلظت آن‌ها در استخراج نهایی نقره کم‌تر از ۲ درصد است؛ این عناصر نمی‌توانند برای شناسایی مکان یا نوع سنگ معدن سودمند واقع شوند، در بین عناصری که معمولاً در آنالیز نقره گزارش می‌شود، تنها طلا در تشخیص ویژگی و منشأ نقره موثر است؛ زیرا طلا تنها عنصری است که میزان غلظت ثابتی نسبت به نقره دارد. طلا در فرایند قال‌گذاری، تحت تأثیر اکسید شدن قرار نمی‌گیرد و در نقره باقی می‌ماند. بنابراین، می‌تواند در شناسایی معادن به ما کمک کند. همچنین مقادیر کمی از بیسموت در نقره ممکن است، نوع سنگ معدن استفاده شده در تولید سکه و یا دست‌افزارهای نقره‌ای را نشان دهد (Meyers, 2003)؛ چنان‌چه میزان طلا در فلز نقره یک‌سان باشد از یک معدن هستند، اما اگر این مقدار متفاوت باشد، می‌تواند نشان‌گر منشأ مختلف جغرافیایی گردد (خادمی دیگران، ۱۳۹۰). در این مقاله، به‌طور کلی از مجموع ۱۵ سکه‌ی مطالعه شده ۴ سکه، متعلق به اُرد دوم می‌باشد که در ضرابخانه‌های اکباتان، شوش، میتردادکرت و ری ضرب شده‌اند (جدول ۲). میزان نقره‌ی این سکه‌ها بین ۸۷٫۲۹ تا ۹۳٫۶۵ درصد می‌باشد که میزان بالایی از نقره در این ضرابخانه‌ها را نشان می‌دهد (نمودار ۱). در دوره‌ی اُرد، کشور از لحاظ سیاسی در شرایط نسبتاً مطلوبی قرار داشت و پیروزی‌هایی که بر رومی‌ها به‌دست آمد، موجب تصرف بین‌النهرین تا نزدیک فرات گردید. این شرایط مساعد سیاسی-اقتصادی در سکه‌ها، با میزان نقره‌ی بالا مشاهده می‌شود. هر چند این تعداد از سکه، برای نتیجه‌گیری قطعی کافی نمی‌باشد؛ اما می‌توان احتمال داد که سکه‌هایی با این میزان بالا از نقره پس از پیروزی اشکانیان بر رومی‌ها، یا دست‌کم در شرایط مساعد سیاسی-اقتصادی (نه در هنگام جنگ) ضرب شده است. با توجه به این‌که طلا عنصری است که می‌تواند به‌عنوان نشانه‌ی سنگ معدن مورد استفاده قرار گیرد. بررسی میزان غلظت طلا در این سکه‌ها نشان می‌دهد که سنگ معدن مورد استفاده در سکه‌ی شماره‌ی ۲ اُرد که در شوش ضرب شده، از سایر سکه‌ها متفاوت است (نمودار ۲). میزان مس در سکه‌های اُرد دوم بین ۳٫۶۶ تا ۶٫۱۹ درصد می‌باشد. این میزان بالای مس، به‌منظور بالا بردن استحکام سکه و یا دلایل اقتصادی به سکه اضافه شده است (Tripathy et al. 2010). وجود آهن در ترکیبات سکه، می‌تواند بیان‌گر آلودگی محیطی باشد (Masjedi et al. 2013)، بنابراین آهن موجود در همه‌ی سکه‌ها به جز سکه‌ی شماره ۱ اُرد (اکباتان) و سکه‌ی شماره ۲ فرهاد (اکباتان) را، می‌توان ناشی از آلودگی محیط آن‌ها دانست. در این مجموعه، ۱۱ سکه متعلق به فرهاد چهارم است که یکی در لائودیسه، ۷ سکه در میتردادکرت و ۳ سکه هم در اکباتان ضرب شده است. میزان نقره در سکه‌های ضرب اکباتان بین

۱. در روش قال‌گذاری از معادن سرب و روی با روش اکسید نمودن این فلزات، بدون اضافه نمودن هرگونه گدازه در مراحل استخراج به نقره می‌رسیدند (Meyers, 2003).

► نمودار ۱: میزان غلظت عناصر در سکه‌های ارد دوم (نگارندگان، ۱۳۹۲).



► نمودار ۲: میزان غلظت طلا در سکه‌های ارد دوم (نگارندگان، ۱۳۹۲).














۱۳،۸۶ تا ۷۳،۹۰ درصد، در ضربانخانه‌ی میترداد کورت بین ۵۸،۵۶ تا ۴۹،۸۶ درصد و در یک سکه متعلق به لائودیسه ۶۶،۹۱ درصد می‌باشد (جدول ۳)؛ بنابراین نتایج، سکه‌های ضرب میترداد کورت از عیار پایین‌تری نسبت به سایر سکه‌ها برخوردارند. می‌توان چنین پنداشت که در دوره‌ی حکومت فرهاد چهارم، با وجود پیروزی‌هایی که در برخی از نبردها به‌دست آمد، اوضاع داخلی کشور به‌دلیل درگیری‌های داخلی در برخی مناطق، از ثبات سیاسی برخوردار نبوده و در نتیجه، عیار سکه‌ها نوسان زیادی را نشان می‌دهد (نمودار ۳). این موضوع را، می‌توان در دوبار برکنار شدن فرهاد از حکومت و روی کار آمدن فردی به‌نام تیرداد مشاهده کرد. میزان نقره‌ی سکه‌های فرهاد، به‌ویژه در ضربانخانه‌ی میترداد کورت نوسان قابل توجهی دارد که این نوسان کاهش ارزش سکه^۱ را در دوره‌ی حکومت این پادشاه نشان می‌دهد. منظور از کاهش ارزش سکه‌ها، وجود شرایط بد سیاسی - اقتصادی است که به سبب آن، دقت در نظارت بر ضرب سکه‌ها کاهش یافته و بنابراین ترکیب عنصری آن‌ها دارای نوسان است. طیف وسیع غلظت نقره

۱. به‌عنوان یک قانون کلی، می‌توان گفت که چنان‌چه سکه‌های نقره‌ی ضرب شده در طول حکومت یک پادشاه میزان پایینی از نقره را نشان دهند، اما اختلاف آن‌ها کم باشد، کاهش ارزش سکه‌ها اتفاق نیفتاده؛ بلکه اگر سکه‌های انتخاب شده دارای اختلاف زیادی در میزان نقره باشند کاهش ارزش، اتفاق افتاده است (Caley, 1950).

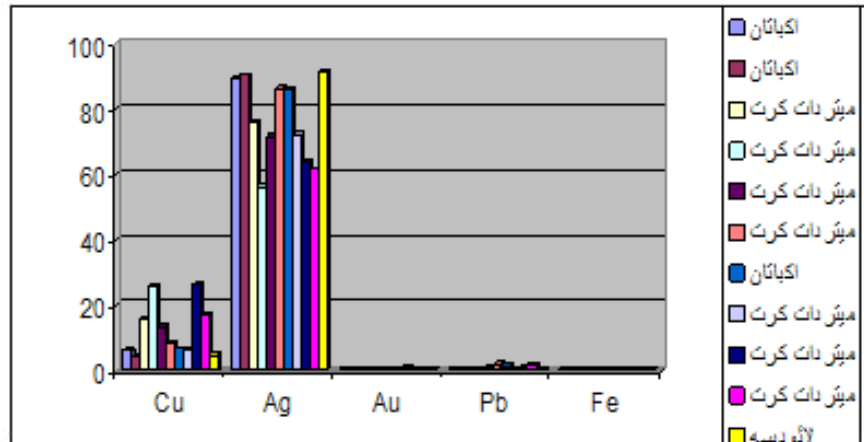
در سکه‌های فرهاد، می‌تواند نشان‌گر شرایط نامساعد سیاسی-اقتصادی و عدم وجود یک استاندارد در میزان نقره‌ی سکه‌ها در کشور باشد. مطالعه‌ی درصد طلا در سکه‌های نقره‌ی فرهاد چهارم نیز، نشان داد که سنگ معدن مورد استفاده در سکه‌ی شماره‌ی ۸ (اکباتان) متفاوت از سایر سکه‌های فرهاد بوده است و این موضوع، می‌تواند بیان‌گر تفاوت معدن مورد استفاده برای تولید این سکه از سایر سکه‌ها باشد (نمودار ۴). بیشترین میزان نقره در سکه‌های اُرد دوم از ضربخانه‌ی اکباتان (۹۳/۶۵ درصد) و در سکه‌های فرهاد چهارم از ضربخانه‌ی لائودیسه

جدول ۳: مشخصات سکه‌های فرهاد چهارم (نگارندگان، ۱۳۹۲). ▼

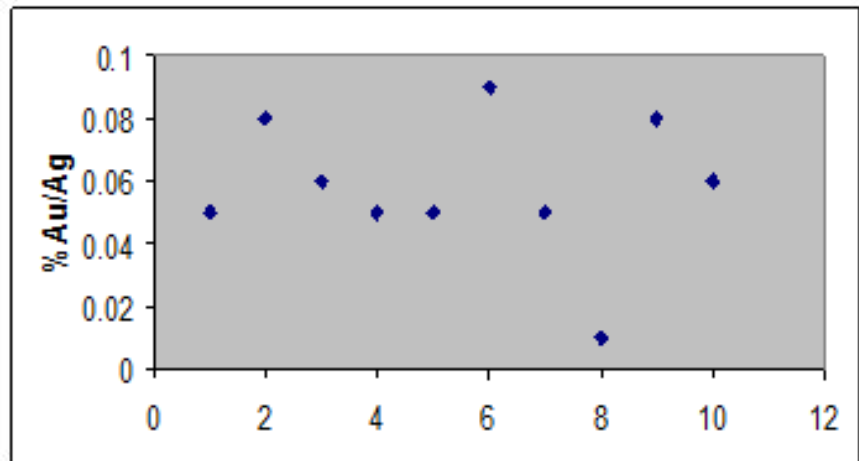
سکه‌های فرهاد چهارم	تصویر سکه	ضربخانه	وزن سکه	Ag	Au	Cu	Pb	Fe
۱		لائودیسه	۳.۶۵	۹۱.۶۶	۰.۷۶	۴.۷۶	۰.۷۸	۰.۱۳
۲		اکباتان	۳.۶۹	۸۹.۵۴	۰.۵۶	۶.۰۸	۰.۶۷	-
۳		اکباتان	۳.۹۶	۹۰.۷۳	۰.۵۱	۴.۰۹	۰.۳۹	۰.۱۲
۴		میترداد کرت	۳.۷۳	۷۶.۰۵	۰.۳۹	۱۵.۷۲	۰.۶۷	۰.۱۵
۵		میترداد کرت	۳.۲۷	۵۶.۵۸	۰.۵۲	۲۵.۶۱	۰.۵۷	۰.۷۸
۶		میترداد کرت	۳.۶۹	۷۱.۹۲	۰.۴۴	۱۳.۵۴	۰.۸۲	۰.۲۱
۷		میترداد کرت	۳.۱۲	۸۶.۴۹	۰.۴۴	۸.۱۴	۲.۱	۰.۰۹
۸		اکباتان	۳.۰۹	۸۶.۱۳	۰.۷۲	۶.۶۴	۱.۴۹	۰.۱۹
۹		میترداد کرت	۳.۹۲	۷۲.۴۶	۰.۸۶	۶.۱۲	۰.۲۸	۰.۲۷
۱۰		میترداد کرت	۳.۵۹	۶۳.۹۱	-	۲۶.۱۷	۱.۰۵	۰.۱۶
۱۱		میترداد کرت	۳.۸۴	۶۱.۰۸	۰.۳۱	۱۶.۸۸	۱.۸۴	۰.۰۹

۱. در آزمایش XRF انجام گرفته بر روی سکه‌ها، میزان ۰/۳۳۶ طلا در این سکه مشخص شد.

► نمودار ۳: میزان غلظت عناصر در سکه‌های فرهاد چهارم (نگارندگان، ۱۳۹۲).



► نمودار ۴: درصد طلا به نقره در سکه‌های فرهاد چهارم (نگارندگان، ۱۳۹۲).



۹۱/۶۶ درصد) است. به دلیل این که هر دو مورد این سکه‌ها، تنها نمونه از ضربخانه‌های نام برده در هر دو دوره هستند، نمی‌توانند نتیجه‌ی معنی‌داری ارائه دهند؛ اما مقایسه‌ی سکه‌های ضرب شده در هر کدام از ضربخانه‌های اکباتان و میتردات کرت در دوره‌ی دو پادشاه نشان دهنده‌ی میزان نقره‌ی بالاتری در سکه‌های اُرد نسبت به سکه‌های فرهاد است. هم‌چنین میزان مس در سکه‌های فرهاد، به‌ویژه در سکه‌های ضرب شده در میتردات کرت به‌طور قابل توجهی (از ۴/۰۹ تا ۲۶/۱۷ درصد) بیشتر از سکه‌های اُرد است. به‌طور معمول مس، در شرایط نامطلوب اقتصادی به منظور افزایش حجم سکه‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت. مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده از آنالیز ترکیبات شیمیایی سکه‌های اُرد و فرهاد، به ثبات شرایط سیاسی اقتصادی در حکومت اُرد دوم نسبت به فرهاد چهارم اشاره دارد که این موضوع در راستای تأیید دیگر منابع باستان‌شناختی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در نتیجه‌ی تجزیه‌ی عنصری سکه‌های دوره‌ی اشکانی، از میان عناصر بیسموت، طلا و ایریدیم، میزان غلظت طلا در سکه‌ها شناسایی شده است. میزان غلظت این عنصر در سکه‌ها، نشان داد که سنگ معدن مورد استفاده در سکه‌ی شماره‌ی

۲ اُرد با میزان ۴۱٪، درصد طلا که در شوش ضرب شده و سکه‌ی شماره‌ی ۸ فرهاد با میزان ۷۲٪، درصد طلا که در اکباتان به ضرب رسیده، متفاوت از سایر سکه‌ها بوده است؛ زیرا غلظت طلا تحت تأثیر معدن مورد استفاده است، نه دوره‌ای که سکه در آن به ضرب رسیده است. بنابراین چنانچه ما در یک دوره از معادن یکسان استفاده کرده باشیم، میزان غلظت طلا مشابه و چنانچه از سنگ معادن مختلف در ضرب سکه استفاده شده باشد، غلظت این عنصر در سکه‌ها متفاوت خواهد بود. بنابراین نتایج آنالیز ترکیبات عنصری سکه‌ها، نشان دهنده‌ی استفاده‌ی حکومت اشکانی از معادن متعدد، به‌منظور تأمین فلز مورد استفاده برای ضرب سکه‌های نقره است. میزان بالای نقره در سکه‌های اُرد دوم نسبت به سکه‌های فرهاد چهارم به وضعیت مساعد اقتصادی در دوره‌ی این پادشاه اشاره دارد؛ هم‌چنین این مسئله که سکه‌های اُرد دوم با وجود پراکندگی در مناطق ضربخانه‌ها، نوسان قابل توجهی را نشان نمی‌دهند - میزان نقره در سکه‌ها ۸۷/۲۹ تا ۹۳/۶۵ درصد است - اما سکه‌های فرهاد چهارم که در یک ضربخانه (میتزات کرت) به ضرب رسیده‌اند، دارای مقادیر متفاوتی از نقره هستند؛ - میزان نقره در سکه‌های این ضربخانه از ۵۶/۵۸ تا ۸۶/۴۹ درصد متفاوت است - به ضعف نظارت بر ضرب سکه‌ها که می‌تواند به علت شرایط نامساعد سیاسی باشد، اشاره دارد. این موضوع در مقایسه با میزان بالای نقره در سکه‌های به ضرب رسیده در ضربخانه‌های اکباتان (۸۶/۱۳ تا ۹۰/۷۳ درصد) و لائودیسه (۹۱/۶۶ درصد)، می‌تواند بیان‌گر تفاوت شرایط سیاسی - اقتصادی مناطق غربی و شرقی کشور در زمان فرهاد چهارم باشد.

سیاسگزاری

با سپاس ویژه از جناب آقای دکتر محمد لامعی‌رشتی و سرکار خانم پروین اولیایی، مسئولین محترم آزمایشگاه واندوگراف سازمان انرژی اتمی ایران که آنالیز سکه‌های مورد مطالعه در این نوشتار را با گشاده‌روی پذیرفتند؛ هم‌چنین از آقایان محمد صفار به جهت این که مجموعه سکه‌های خود را در اختیار این پژوهش قرار دادند و اسماعیل همتی از ندریانی به دلیل کمک در ویرایش این نوشتار تشکر می‌کنم و قدردان زحمات ایشان هستم.

کتابنامه

بیانی، ملکزاده، ۲۵۳۷، تاریخ سکه (جلد دوم)، دوره‌ی پارسی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

بیوار، د.ه، ۱۳۸۰، تاریخ سیاسی ایران در دوره‌ی اشکانیان، تاریخ ایران از سلوکیان تا فروپاشی دولت ساسانی، گردآورنده: احسان یارشاطر، ترجمه: حسن انوش، ج. ۳، قسمت اول، تهران: انتشارات امیرکبیر.

خادمی‌ندوشن، فرهنگ، نایب‌پور، محمد و سودایی، بیتا، ۱۳۹۰، «شناسایی منابع فلزی استحصال نقره برای ضرب سکه‌های اشکانی در استان ماد بزرگ با روش PIXE»، نشریه‌ی علمی پژوهشی مطالعات باستان‌شناسی، شماره‌ی ۱، صص: ۷۹-۸۸.

سرفراز، علی اکبر و آورزمانی، فریدون، ۱۳۸۷، سکه‌های ایران از آغاز تا دوران قاجار، تهران: انتشارات سمت.

سودایی، بیتا، ۱۳۸۹، «تحلیل باستان‌شناختی تحولات تاریخی و اقتصادی پارت‌ها براساس مسکوکات در طی ۲۴۷ تا ۵۰ قبل از میلاد»، رساله دکتری باستان‌شناسی دوران تاریخی، دانشگاه تربیت مدرس.

محمدی‌فر، یعقوب، حاج ولیئی، مهدی و کرمیان، اصغر، ۱۳۸۸، «مطالعه ترکیب سکه‌های نقره‌ای دوره اشکانیان با روش PIXE»، هفدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه بوعلی.

مشکور، محمدجواد، ۱۳۵۰، پارت‌ها یا پهلویان قدیم (تاریخ سیاسی)، تهران: انتشارات دانش‌سرای عالی.

ورستاندیک، آندره، ۱۳۸۶، تاریخ امپراتوری اشکانیان، ترجمه: محمود بهفروزی، تهران: نشر دیبا.

ولسکی، یوزف، ۱۳۸۳، شاهنشاهی اشکانی، ترجمه: مرتضی ثاقب‌فر، تهران: انتشارات ققنوس.

Beck.,L.Bosonnet., S. Reveillon, S. Eliot., D. Pilon., F., 2008, "Silver surface enrichment of silver-copper alloys: a limitation for the analysis of ancient silver coins by surface techniques" in Nucl. Instrum. Methods B 226, 153-162.

Caley,Earle R., 1950, " Notes on the Chemical Composition of Parthian Coins with Special Reference to the Drachms of OrodesI",in The Ohio Journal of Science,Vol.50,No.3,pp:107-120.

Denker, J., Coutureau, J., Griessr, M., Denk, R. & Winter, H., 2004, " Non-destructive analysis of coins using high- energy PIXE",inNuclear Instruments and Methods in Physics Research,Vol. 226,Issue.1-2,pp: 163-171.

Gashen, A.A.M., 2008, "Restriction on Fluorine dept profiling for exposure age dating in archaeological bones" ,in Journal of archaeological science 35, 535-552.

Grant, Jim. Sam Gorin. Neil Fleming, 2002, "The Archaeology course-book an introduction to study skills, topics and methods", in London, Routledge.

Guerra., M. F., 2004, "The circulation of South American precious metals in Brazil at the end of the 17th century", in Journal of Archaeological Science 31, 1225-1236.

Hajivaliei, M., Mohamadifar,Y., Ghiyasi,K., Jaleh,B., Lamehi-Rachti,M.,&P.Oliayi. 2008." Application of PIXE to study ancient Iranian Silver coins",in Nuclear Instrument and Metods on Physics Research B, Vol.266 (8): 1578-1582.

Johnson, M., 1999, "Archaeological Theory: An Introduction".in Oxford: Blackwell Publishers.

KhademiNadooshan. Farhang and Khazaie, Mostafa, 2011,"Probable Sources and Refining Technlogy of Parthian and Sasanian Silver Coins",in INTERDISCIPLINARIA ARCHAEOLOGICA NATURAL SCIENCES IN ARCHAEOLOGY, Vol.II, Issue.2/2011, pp:101-107

Khademi Nadoshan, Farhang, Moosavi Jashni, Seyed sadredin, 2006, "Spectroscopic study of Phraates IV silver coins to identify Parthian coins issuance standard", BULLETIN OF PARTHIAN AND MIXED ORIENTAL STUDIES, NO.2, pp18-26.

Khademi Nadoshan, Farhang, Moosavi Jashni Seyed, sadredin, Jafarzadehpour Frouzandeh, September, 2005, "AMERICAN ,The Politics of Parthian coinage in Media", in NEAR EASTERN ARCHAEOLOGY, VOL 68.NO.3 pp123-127.

Kallithrakas-Kontos, N., Katsanos, A.A. & J. Touratsoglou, 2000, "Trace element analysis of Alexander the Great's silver tetradrachms minted in Macedonia", in Nuclear Instrument and Methods on Physics Research B, Vol. 171, Issue. 3, pp:342-349.

Linke, R. Schreiner, Demortier, 2004, "The application of photo, electron and proton induced X-ray analysis for the identification and characterization of medieval silver coins", in Nuclear instruments and Methods in Physics Research B, Vol. 226, pp: 172-178.

Masjedi, P., Khazaie Kouhpar, Mostafa, Hajivaliei, Mahdi and Khademi, Farhang, 2013, "ELEMENTAL ANALYSIS ON ILKHANID PRIODCOINS BY PIXE: A CASE STUDY ON KING GHAZAN SILVER COINS", in Mediterranean Archaeology and Archaeometry, Vol. 13, No. 2, pp: 120-132.

Meyers, P., 2003, "Production of silver in antiquity: ore type identified based upon elemental composition of ancient silver artifacts". in Patterns and process: a festschrift in honor of Dr. Edward V. Sayre. (Lambertus van zelset) Ed. pp:271-288. Smithsonian Center for Materials Research and Education: Washington, D.C.

Roumie, M., & etc, 2004, "Use of PIXE analysis technique for the study of Beirut amphora production in the Roman period", in Nuclear Instrument and Methods on Physics Research B, Vol. 215, Issue. 1-2, pp:196-202.

Tripathy, B., Tapash., B., Rautray., R., Rautray., A. C., & Vijayan., V., 2010, "Elemental analysis of silver coins by PIXE technique". in Applied Radiation and Isotopes, Vol. 68, Issue 3, pp: 454-458.

Weber, G, Guillaume, J., Strivay, D., Garnir, H. P., Marchal, A., L Martinot, L., 2000, "Is the External beam PIXE method suitable for determining ancient silver artifact fineness?", in Journal of Nuclear Instrument and Methods in Physics Research section B: Beam interactions with materials and atoms. no: 161-163: 724-729.