



پژوهشی بر قدرت اقتصادی ایالت طبرستان در عصر ناصری به کمک تجزیه عنصری سکه‌های آن دوره به روش پیکسی

I حسین کوهستانی اندرزی

II حسن هاشمی زرج‌آباد

III عاطفه بزی

IV محمدامین سعادت‌مهر

IV سپیده بختیاری

(صص: ۲۰۳ - ۱۸۹)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۷

شناسه دیجیتال (DOI): 10.30699/PJAS.4.11.189

چکیده

ایالت طبرستان (مازندران) به دلیل موقعیت‌های اقتصادی و تجاری فراوان همیشه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده، علاوه بر آن جایگاه سیاسی بالایی نیز برای حکمرانان قاجاری داشته است؛ به همین دلایل، از دیرباز ضربخانه فعالی تا سال ۱۲۸۸ ه.ق. در این ایالت دایر بود که در دوره ناصرالدین‌شاه قاجار (۱۳۱۳-۱۲۶۴ ه.ق.) قران‌های نقره فراوانی را بین سال‌های ۱۲۶۴-۱۲۶۶، ۱۲۷۴-۱۲۶۹، ۱۲۸۳-۱۲۸۰، ۱۲۸۸-۱۲۸۷ ه.ق. به ضرب رسانده بود. نظام ضرب سکه دوره ناصری، هرچند به صورت اسمی پیرو نظام تهران بود، اما در عمل هر شهر، نظامی خودمختار داشت و سکه‌های بیشتر شهرها با مقادیر متفاوت خلوص نقره به ضرب می‌رسید. این مسائل دو پرسش را برای ضربخانه طبرستان طرح می‌سازد: مقدار خلوص نقره سکه‌های ضرب شده در طبرستان چگونه بوده و سیر تغییرات آن چگونه رقم خورده است؟ سکه‌های ایالت طبرستان در جایگاه ایالتی مهم، در برابر شهرها و ایالات مهم دیگر ایران نظیر مشهد، تبریز، تهران، اصفهان، و شیراز چگونه بوده است؟ بنابراین برای پاسخ دادن به این پرسش‌ها، تجزیه عنصری سکه‌های این دوره با استفاده از شیوه پیکسی به دلیل غیرمخرب بودن، سرعت و دقت بالای آن، پایه اصلی این پژوهش قرار گرفت تا تحلیلی از میزان تعهد ضربخانه طبرستان به نظام مرکزی ضرب سکه در تواریخ مختلف در مقایسه با سایر شهرها و ایالات اصلی ایران عصر قاجار ارائه گردد. در این پژوهش تعداد ۱۷ سکه در ۱۷ تاریخ متفاوت، مورد تجزیه عنصری قرار گرفت که در نتیجه روند تغییرات میزان خلوص نقره به طور میانگین در دو بازه زمانی بین سال‌های ۱۲۶۴-۱۲۷۸ ه.ق. ۹۰،۱۳٪، ۱۲۸۸-۱۲۸۰ ه.ق. ۸۴،۳۳٪، و در کل این دوره ضرب ۸۸،۰۸٪، تبیین شده و جایگاه آن از نظر میزان خلوص نقره در مقابل ضربخانه‌های مشهد (۸۴٪)، تبریز (۸۲٪)، تهران (۹۰٪)، اصفهان (۸۴٪)، و شیراز (۹۰٪) مشخص گردید. در آخر نیز اطلاعات ارزشمندی از نوع معادن نقره مورد استفاده، یعنی معادن سروزیت و نحوه عیار زدن فلز سکه‌ها با فلزات مس و آهن به دست آمد.

کلیدواژگان: سکه‌شناسی، آزمایش پیکسی، طبرستان، اقتصاد، ناصرالدین‌شاه قاجار.

I. استادیار گروه باستان‌شناسی، دانشکده هنر دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران.

II. دانشیار گروه باستان‌شناسی، دانشکده هنر و معماری دانشگاه مازندران، مازندران، ایران.

III. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد باستان‌شناسی، گروه باستان‌شناسی دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه سیستان و بلوچستان، سیستان و بلوچستان، ایران.

IV. دانشجوی دکتری باستان‌شناسی، گروه باستان‌شناسی، دانشکده هنر و معماری دانشگاه مازندران، مازندران، ایران (نویسنده مسئول).

V. دکتری باستان‌شناسی، گروه باستان‌شناسی، دانشکده هنر و معماری دانشگاه مازندران، مازندران، ایران.

مقدمه

ایالت طبرستان به دلیل موقعیت‌های اقتصادی و تجاری فراوان همیشه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده، علاوه بر آن جایگاه سیاسی بالایی نیز برای حکمرانان قاجاری داشته است؛ از این رو از صدر اسلام سکه‌های فراوانی با نام این شهر تابع نظام پولی حکومتی به ضرب می‌رسید (عقیلی، ۱۳۷۷: ۲۵۷-۲۵۵). در گذشته حاکمیت‌ها در جهت تضمین ارزش پول براساس محتوای فلزی، قوانین وضع کرده و کارگزانی برای آن‌ها تعیین می‌کردند. نظام پولی در دوره قاجار نیز بر پایه قوانین عصر صفوی بنا شد، اما این نظام در دوره ناصری بسیار برآشفته شد، تا آنجا که سکه‌ها گونه‌ای محلی به حساب می‌آمدند. در هر شهر قران‌های نقره با عیارهای متفاوت به ضرب می‌رسید و نرخ تبدیل آنان با تومان‌های طلا بسیار متفاوت بود. در واقع پول‌های رایج در یک شهر با همان ارزش در شهرهای دیگر پذیرفته نمی‌شد و فقط در صورت کسر مبلغی با عنوان نرخ تسعیر، قابل پذیرش و تبدیل بود (مته و همکاران، ۱۳۹۶: ۴۴ و ۲۸۲-۲۸۱). ایالت طبرستان نیز از این دایره خارج نبوده و قران‌های نقره محلی فراوانی با نرخ‌های نامشخص به صورت پراکنده، بین سال‌های ۱۲۸۸-۱۲۶۴ ه.ق. به ضرب رسانده بود.

در اینجا سکه‌ها را می‌توان سندی ارزشمند و بهترین داده‌های باستان‌شناختی دانست، زیرا سکه‌ها متعلق به همان عصر بوده و مانند متون با هدف خوانش مجدد ایجاد نشده‌اند (کیان‌زادگان و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۸۲)؛ از این رو تجزیه عنصری سکه‌های این دوره، به ویژه با استفاده از تجزیه عنصری پیکسی^۱ می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره شرایط سیاسی-اقتصادی در اختیار بگذارد تا تحلیل بهتری از شرایط دوران مورد پژوهش به دست آید (Beck et al., 2004: 153-162). سکه‌های مورد مطالعه در این پژوهش متعلق به مجموعه شخصی «سیدحسن سادات رضوی» (حیدرآباد، هند) بوده که به رسم امانت در اختیار نگارندگان قرار گرفته است. سکه‌های ناصرالدین‌شاه ضرب طبرستان در تاریخ‌های ۱۲۶۶-۱۲۶۴، ۱۲۷۴-۱۲۶۹، ۱۲۸۳-۱۲۸۰، ۱۲۸۸-۱۲۸۷ ه.ق. به ضرب رسیده‌اند که در مجموع ۱۷ سکه متفاوت از منظر تاریخ ضرب را دربر می‌گیرد؛ از این رو از هر تاریخ ضرب، یک سکه برای آزمایش در نظر گرفته شد که در مجموع تعداد ۱۷ سکه در مؤسسه فیزیک بوبانسور^۲ (ایالت اورپسا، هند) مورد آزمایش پیکسی قرار گرفت.

اهداف و ضرورت پژوهش: در این نوشتار سعی بر آن بوده که علاوه بر تلفیق نگاه‌های تاریخی و اطلاعات سکه‌شناسی، به تجزیه عنصری پیکسی سکه‌های ناصرالدین‌شاه ضرب طبرستان در تمامی تاریخ‌های ضرب پرداخته شود تا تحلیلی از نحوه عملکرد و تعهد این ضرابخانه به نظام مرکزی ضرب مسکوکات ارائه گردد و قدرت اقتصادی آن در قیاس با سایر ایالت‌ها و شهرهای پُراهمیت سنجیده شود.

پرسش‌های پژوهش: از آنجا که نظام پولی دوره ناصری از ساختار خاصی پیروی نمی‌کرد و سکه‌های هر محل با عیارهای متفاوت به ضرب می‌رسید، دو پرسش مطرح می‌شود: مقدار خلوص نقره سکه‌های ضرب شده در طبرستان چگونه بوده و سیر تغییرات آن چگونه رقم خورده است؟ سکه‌های ایالت طبرستان در جایگاه ایالتی مهم، در برابر شهرها و ایالات مهم دیگر ایران نظیر مشهد، تبریز، تهران، اصفهان، و شیراز چگونه بوده است؟

روش پژوهش: در پژوهش داده‌های باستانی و ترکیبات عنصری آن‌ها روش‌های متفاوتی نظیر «پراش پرتو ایکس»^۳، «فلورسانس پرتو ایکس»^۴، «انتشار اشعه ایکس ناشی از ذرات»^۵، «طیف‌سنجی جذب اتمی»^۶، «تجزیه فعال سازی نوترونی»^۷ و غیره استفاده می‌شود (خادمی ندوشن و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۴). در این پژوهش، از میان سایر شیوه‌های تجزیه عنصری، از شیوه پیکسی به دلیل سرعت، دقت بالا و از همه مهم‌تر غیرمخرب بودن آن برای مطالعه سکه‌ها استفاده شده است. این شیوه انواع گوناگونی نظیر «پیکسی متعارف»^۸، «پیکسی با باریکه خارجی»^۹، «میکروپیکسی»^{۱۰} و «فلورسانس

پرتوی ایکس ناشی از پروتون^{۱۰} را برای مطالعات باستان‌سنجی ارائه می‌دهد (لامعی‌رشتی، ۱۳۸۲: ۹۲-۷۵)؛ بنابراین پایه این پژوهش بر پیکسی متعارف قرار گرفت و این شیوه، روشی معمول برای تجزیه عنصری نمونه‌های همگن، مانند سکه‌ها محسوب می‌شود. در نمونه‌های همگن، اجزای آن به صورت یکنواخت پراکنده شده‌اند و در صورت غیرهمگن بودن نمونه‌ها می‌توان از روش‌های دیگر مانند میکروپیکسی و غیره استفاده نمود (اسماعیل‌زاده‌کیوی، ۱۳۹۲: ۲۸).

پیشینه پژوهش

تجزیه عنصری داده‌های باستانی به شیوه‌های اتمی و هسته‌ای برای اولین بار در سال ۱۹۵۳ م. مورد استفاده قرار گرفت (Ambrosino & Pindrus, 1953: 136-138)، اما به طور کلی استفاده از روش‌های تجزیه هسته‌ای در باستان‌شناسی از سال ۱۹۵۶ م. مورد توجه دانشمندان قرار می‌گیرد؛ در این سال، جلسه‌ای با حضور «اپنهاایمر»^{۱۱} رئیس مطالعات علوم دانشگاه پرینستون، «دادسون»^{۱۲} رئیس بخش شیمی آزمایشگاه ملی بروکینگتون^{۱۳}، و جمعی از شیمیدان‌ها و باستان‌شناسان تشکیل شد و در آن استفاده از روش‌های تجزیه هسته‌ای برای بررسی آثار باستانی به بحث گذاشته شد (Harbottle, 1986: 10-15). روش پیکسی نیز در سال ۱۹۷۰ م. ابداع گردید (Johansson et al., 1970: 141) و به سرعت در باستان‌شناسی کاربرد یافت (Gordon & Kraner, 1972: 141)، حتی موزه لوور نیز با خرید شتاب‌دهنده‌ای مناسب، آزمایشگاه ویژه‌ای تأسیس نمود (لامعی‌رشتی و همکاران، ۱۳۸۱: ۴۳۱). در ایران نیز معرفی تجزیه عنصری پیکسی در مطالعات باستان‌سنجی برای اولین بار به سال ۱۳۸۱ ش. (۹-۸ آبان) در «همایش باستان‌سنجی در ایران: نقش علوم پایه در باستان‌شناسی» تحت عنوان مقاله «نقش تحلیل عنصری در باستان‌سنجی: تجزیه آزمایشگاه واندوگراف» توسط «محمد لامعی‌رشتی» (۱۳۸۲) صورت پذیرفت. اما در باب عیارسنجی سکه‌های نقره ناصرالدین‌شاه، برای اولین بار «پیکن» به درخواست «رابینو» در همان عصر نمونه سکه‌هایی از ضربخانه‌های محلی را به منظور تهیه فهرست ارزش سکه‌های نقره نسبت به طلا، برای بانک شاهنشاهی ایران، به شیوه‌ای سنتی مورد تجزیه قرار داد و رابینو نیز آن را در مقاله‌ای به نام «بانکداری در ایران»^{۱۴} به سال ۱۸۹۲ م. منتشر کرد (Rabino, 1892: 1-56).

پول رایج و ناکارآمدی نظام پولی

بر اساس تفکر جدید، نظام پولی میانه دوره قاجار، یعنی عصر ناصری در ایران با داشتن پول‌ها و واحدهای پولی که از مکانی به مکان دیگر و از زمانی به زمان دیگر راه نداشت و از نظر نرخ تبدیل تفاوت‌های فراوانی داشت، بسیار عجیب و غیرمنطقی به نظر می‌آید؛ تاجایی که راهکار ایرانیان برای سازگاری با این وضعیت، دائماً به محاسبه و تبدیل انواع نقود و اقلام با انواع نرخ‌های محلی و استاندارد می‌پرداختند (مته و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۸۱).

«ابوت» مشاهده کرد که بسیاری از شهرها معیارهای پول رایج خود را دارند، گرچه خاطر نشان می‌کند که معیار معمول در تجارت، پول رایج رسمی بود؛ برای مثال، باتوجه به نوشته وی، یزد در سال‌های ۱۸۵۰-۱۸۴۹ م. (۱۲۶۶-۱۲۶۵ ه.ق.) پول رایج خود را داشت که «از جاهای دیگر متفاوت بود، ۲۵ شاهی صاحب قران حساب می‌شد و ۱۲٫۵ قران رایج در آنجا برابر با یک تومان است (درحالی‌که هر ۱۰ قران باید یک تومان باشد). این پول رایج در معاملات کوچک مورد قبول است، اما در تجارت، قران ۲۰ شاهی ملاک است». به‌گفته او در کرمان «پول محل قران، ۲۸ شاهی و ۳٫۵ پنابادی است و ۲ شاهی کرمان یک سکه قران معیار است». یا در مورد پول رایج اصفهان «۲۳ شاهی در صاحب قران بود، اما در معاملات تجاری پول رایج متداول ایران مورد قبول است» (Abbott, 1983: 82, 85, 104, 117).

دست کم تا زمان راه اندازی ضربخانه مدرن در سال ۱۲۹۴ ه.ق. بخشی از دلیل این تغییرات آن بود که ضربخانه های محلی به سادگی با معیارهای رسمی در زمینه وزن و عیار کنار نمی آمدند. پیکن در همان عصر نمونه ای از سکه های ضربخانه های محلی را بررسی نموده (جدول ۱) و رابینو خلاصه این بررسی را این گونه آورده است: «این شکل ها نشان دهنده نبود ترتیبی خاص در پول رایج ایرانی است. میان قران های همدان و تهران بیش از ۱۷٪ اختلاف ارزش وجود دارد؛ میان قران های دیگر شهرها و پایتخت از نظر پولی تفاوت بسیار قابل توجهی است، گرچه کمتر از آن چیزی است که به طور افراطی نقل می شود» (Rabino, 1892: 37).

جدول ۱. نمونه وزن و عیار قران های نقره در ضربخانه های چند منطقه (Rabino, 1892: 37).

ضربخانه	تاریخ ضرب	وزن	عیار در هزار	ارزش به فرانک
همدان	۱۲۹۳ ه.ق. / ۱۸۷۷ م.	۴٫۹۵ گرم	۷۶۰	۰٫۸۳۶
تبریز	۱۲۹۰ ه.ق. / ۱۸۷۴ م.	۴٫۹۰ گرم	۸۲۰	۰٫۸۹۳
کاشان	۱۲۸۲ ه.ق. / ۱۸۶۶ م.	۵٫۰۳ گرم	۸۲۰	۰٫۹۱۷
اصفهان	۱۲۹۳ ه.ق. / ۱۸۷۷ م.	۵٫۰۲ گرم	۸۴۰	۰٫۹۳۷
کرمان	۱۲۹۳ ه.ق. / ۱۸۷۷ م.	۴٫۹۰ گرم	۸۴۰	۰٫۹۱۵
مازندران (طبرستان)	۱۲۹۲ ه.ق. / ۱۸۷۶ م. ^{۱۵}	۴٫۹۷ گرم	۸۴۰	۰٫۹۲۸
مشهد	۱۲۹۳ ه.ق. / ۱۸۷۷ م.	۴٫۹۰ گرم	۸۴۰	۰٫۹۱۰
کرمانشاه	۱۲۸۲ ه.ق. / ۱۸۶۶ م.	۴٫۹۷ گرم	۸۸۰	۰٫۹۷۲
رشت	۱۲۸۰ ه.ق. / ۱۸۶۴ م.	۴٫۸۰ گرم	۸۹۰	۰٫۹۴۹
تهران	۱۲۹۲ ه.ق. / ۱۸۷۶ م.	۵٫۰۲ گرم	۹۰۰	۱٫۰۰۴
شیراز	۱۲۹۱ ه.ق. / ۱۸۷۵ م.	۴٫۹۰ گرم	۹۰۰	۰٫۹۸۰
یزد	۱۲۷۸ ه.ق. / ۱۸۶۲ م.	۴٫۹۷ گرم	۹۰۰	۰٫۹۹۴
هرات	۱۲۷۷ ه.ق. / ۱۸۶۱ م.	۴٫۹۰ گرم	۹۰۰	۰٫۹۸۰

اما حتی زمانی که ضربخانه مدرن آغاز به ضرب سکه هایی با وزن و عیار یکسان کرد، نظام پولی منطقه ای به کار خود ادامه می داد. «لندور» که در سال ۱۹۰۱ م. (۱۳۱۹ ه.ق.) در ایران مسافرت می کرد، دریافت که «هرگز نمی دانم که ارزش یک قران دقیقاً چقدر است و در هر ایالتی در مقابل قران هایم، شاهی های متفاوتی دریافت کردم» (Landor, 1902: 1/131).

«بردلی-برت» نیز در سال ۱۹۱۰ م. (۱۳۲۸ ه.ق.) گلیه داشت که: «ناپایداری نرخ بانکی ایران بی‌شک برای هرکسی به جز یک بانکدار همچون یک راز است. همه آنچه که می‌توانستم در این باره کشف کنم این بود که هرچه در ایران پیش‌تر می‌رفتم، به‌طور پیوسته پایین می‌آمد؛ درحالی‌که من در بوشهر برای هر ۱۵ روپیه یا سلطنتی انگلیسی، ۵۱ قران دریافت کردم و وقتی به تهران رسیدم تنها ۴۷ قران گرفتم؛ درحالی‌که کمی پیش‌تر در آنجا به من گفته شد که نرخ روی مبلغ بالای ۶ قران ایستاده است» (Bradley-Birt, 1909: 52-53).

کلیاتی درباره قران‌های ناصری ضرب طبرستان (۱۲۸۸-۱۲۶۴ ه.ق.)

سکه‌ها در دوره قاجار به صورت دستی ضرب می‌شدند؛ بنابراین برطبق نیاز اقتصادی، در هر شهر و ایالت ضربخانه‌ای دایر بود که برحسب توان مالی، میزان تولید سکه‌ها رقم می‌خورد، به‌همین علت ضربخانه‌های عصر ناصری را می‌توان در سه گروه جای داد:

۱. فعال‌ترین ضربخانه‌ها: مشهد، تبریز، تهران، اصفهان و شیراز؛
۲. ضربخانه‌های فعال: همدان، قزوین، استرآباد، طبرستان، کرمان، کاشان، رشت، هرات، یزد، کرمانشاهان و خوی؛

۳. ضربخانه‌های تشریفاتی: سرخس، سیستان (Michael, 2015: 794-804; Album, 2011: 291-296).

این ضربخانه‌ها براساس موقعیت سکه‌هایی از جنس طلا، نقره، و مس با واحدهای پولی و وزنی متفاوت به ضرب می‌رسانند؛ اما چون اساس این پژوهش قران‌های نقره بوده، در ادامه فقط به ذکر واحدهای پولی و وزنی سکه‌های نقره پرداخته می‌شود.

در اوایل دوره سلطنت محمدشاه (۱۲۶۴-۱۲۵۱ ه.ق.)، یعنی در سال ۱۲۵۴ ه.ق. اوزان قران‌های نقره از تومانی (ده هزار دینار) ۳۰۰ نخود (۵۷٫۶ گرم) به تومان ۲۸۰ نخودی (۵۳٫۵۶ گرم) کاهش یافت و این نظام وزنی تا سال ۱۲۷۴ ه.ق.، یعنی اوایل سلطنت ناصرالدین‌شاه نیز ادامه یافت. در سال ۱۲۷۱ ه.ق. تصمیم بر آن شد تا دوباره از وزن سکه‌های نقره کاسته شود؛ بنابراین اوزان این سکه‌ها از تومانی ۲۸۰ نخود به تومان ۲۶۰ نخودی (۴۹٫۹۲ گرم) بدل گردید (Album, 2011: 291-296). (جدول ۲).

سرانجام در سال ۱۲۹۴ ه.ق. ضرب سکه به صورت ماشینی درآمد و ضرب سکه دستی متوقف شد؛ اما بنا بر اعتراضات، ضرب دستی سکه با شرایطی در برخی از ضربخانه‌ها ادامه یافت که در نهایت در سال ۱۲۹۶ ه.ق. به‌طور کامل برچیده شد (مته و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۷۳-۲۷۲).

جدول ۲. واحدهای پولی و اوزان سکه‌های ضرب دستی نقره عصر ناصری (Album, 2011: 291-296; Michael, 2015: 794-804; Heritage Auctions, 6-7 Jan 2013: Lot 21933-21934).

واحد‌های پولی	گردش مالی	تومان ۲۸۰ نخودی	تومان ۲۶۰ نخودی	توضیحات
۲٫۵ شاهی / ۱۲۵ دینار	رایج	۰٫۶۷ گرم	۰٫۶۲ گرم	ضرب مناسبتی و برخی یک‌رو
۵ شاهی / ۲۵۰ دینار	رایج	۱٫۳۴ گرم	۱٫۲۴ گرم	
۱۰ شاهی / ۵۰۰ دینار	رایج	۲٫۶۸ گرم	۲٫۴۹ گرم	
۱ قران / ۱۰۰۰ دینار	رایج	۵٫۳۷ گرم	۴٫۹۹ گرم	
۲ قران / ۲۰۰۰ دینار	غیر رایج	---	۹٫۹۸ گرم	فقط تبریز، ۱۲۹۴ ه.ق.
۵ قران / ۵۰۰۰ دینار	غیر رایج	۲۶٫۸۸ گرم	---	فقط تهران، ۱۲۶۷ ه.ق.

طرح قران‌های ناصرالدین‌شاه ضرب‌شده در طبرستان (تصاویر ۱ و ۲) مانند سایر سکه‌های این عصر در ضرابخانه‌های دیگر است؛ به‌طور کلی بر روی این سکه‌ها عبارت «السلطان ابن السلطان ناصرالدین شاه قاجار» نگاشته شده است و بر پشت این سکه‌ها نیز عبارت «ضرب دارالملک طبرستان» به‌همراه تاریخ ضرب سکه بر آن‌ها ضرب گردیده است (نوبین فرح‌بخش، ۱۳۸۵: ۱۰۹-۱۰۸).



تصویر ۱. نمونه‌ای از سکه‌های ناصرالدین‌شاه قاجار ضرب‌شده در طبرستان به سال ۱۲۷۳ هـ.ق. (Her-itage Auctions, 6-7 Jan 2013: Lot 21961).



تصویر ۲. برخی از سکه‌های آزمایش‌شده، نمونه‌های ۱، ۹، ۱۱ و ۱۷ (نگارندگان، ۱۳۹۸).

بحث و تحلیل

همان‌طور که بیان شد، سکه‌های مورد مطالعه در این پژوهش از مجموعه شخصی «سیدحسن سادات رضوی» به امانت گرفته و مورد آزمایش قرار گرفته است؛ اما این پرسش پیش می‌آید که معیار انتخاب این سکه‌ها چه بوده است؟ سکه‌های ناصرالدین شاه در طبرستان در میان تاریخ‌های ۱۲۶۴-۱۲۶۶، ۱۲۷۴-۱۲۶۹، ۱۲۸۳-۱۲۸۰، ۱۲۸۸-۱۲۸۷ ه.ق. دیده شده است (Album, 2011: 797; Michael, 2015: 291-296)، (جدول ۳) که ۱۷ سکه متفاوت از نظر تاریخ ضرب را دربر می‌گیرد؛ بنابراین از هر تاریخ ضرب، یک سکه برای آزمایش در نظر گرفته شد و در کل تعداد ۱۷ سکه مورد آزمایش پیکسی قرار گرفت. مشخصات کامل سکه‌های انتخابی به ترتیب تاریخ‌های ضرب، در جدول ۴ آمده است.

جدول ۳. فهرست سکه‌های ضرب شده در طبرستان بین سال‌های ۱۲۶۴-۱۲۸۸ ه.ق. (Album, 2011: 797; Michael, 2015: 291-296).

ردیف	تاریخ ضرب	وزن قانونی	ردیف	تاریخ ضرب	وزن قانونی
۱	۱۲۶۴-۱۲۶۶ ه.ق.	۵,۳۷ گرم	۲	۱۲۶۹-۱۲۷۴ ه.ق.	۵,۳۷ و ۴,۹۹ گرم
۳	۱۲۷۸-۱۲۷۷ ه.ق.	۴,۹۹ گرم	۴	۱۲۸۰-۱۲۸۳ ه.ق.	۴,۹۹ گرم
۵	۱۲۸۸-۱۲۸۷ ه.ق.	۴,۹۹ گرم	***	***	***

جدول ۴. مشخصات سکه‌های مورد آزمایش (نگارندگان، ۱۳۹۸).

شماره نمونه	تاریخ ضرب	وزن سکه	شماره نمونه	تاریخ ضرب	وزن سکه
۱	۱۲۶۴ ه.ق.	۵,۳۳ گرم	۲	۱۲۶۵ ه.ق.	۵,۲۶ گرم
۳	۱۲۶۶ ه.ق.	۵,۱۹ گرم	۴	۱۲۶۹ ه.ق.	۵,۳۱ گرم
۵	۱۲۷۰ ه.ق.	۵,۲۴ گرم	۶	۱۲۷۱ ه.ق.	۵,۲۵ گرم
۷	۱۲۷۲ ه.ق.	۴,۸۹ گرم	۸	۱۲۷۳ ه.ق.	۴,۸۱ گرم
۹	۱۲۷۴ ه.ق.	۴,۹۱ گرم	۱۰	۱۲۷۷ ه.ق.	۴,۸۵ گرم
۱۱	۱۲۷۸ ه.ق.	۴,۹۷ گرم	۱۲	۱۲۸۰ ه.ق.	۴,۹۹ گرم
۱۳	۱۲۸۱ ه.ق.	۴,۸۴ گرم	۱۴	۱۲۸۲ ه.ق.	۴,۸۸ گرم
۱۵	۱۲۸۳ ه.ق.	۴,۹۴ گرم	۱۶	۱۲۸۷ ه.ق.	۴,۹۳ گرم
۱۷	۱۲۸۸ ه.ق.	۴,۹۷ گرم	***	***	***

همان‌طور که گفته شد، در این پژوهش از شیوه متعارف پیکسی استفاده شده است، پس با این رویکرد سکه‌های مورد مطالعه به مؤسسه فیزیک بوبانسور منتقل شد و با شتاب‌دهنده متناوب پلترون^{۱۶}، مورد تجزیه عنصری پیکسی قرار گرفت. عملکرد این آزمایش بدین‌گونه است که باریکه‌ای از پروتون‌ها (ذرات باردار) از داخل اتاقک واکنش عبور می‌کنند. گاهی اوقات شدت باریکه ورودی توسط یک ورق پخش‌کننده و موازی‌ساز در صورت نیاز یکنواخت می‌شود. نمونه‌ای که باید تجزیه شود، باید به صورت مستقیم یا آماده شده (به صورت قرص یا محلول‌های شیمیایی) در مقابل باریکه قرار بگیرد. باریکه پس از برخورد به هدف (در صورتی که نمونه نازک باشد) از آن عبور می‌کند و داخل فنجان فارادی متوقف می‌شود که به جمع‌کننده بار متصل است. پرتوی ایکس گسیلی از نمونه توسط آشکارساز Si (Li) آشکار می‌شود. پالس‌هایی که از آشکارساز خارج می‌شوند، پس از تقویت به یک تحلیل‌گر چندکاناله وارد می‌شوند و طیف پرتوی ایکس مشخصه نمونه‌هایی که بمباران شده‌اند، نشان داده می‌شود (اولیایی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۱).

آماده کردن نمونه‌ها یکی از مشکلات اساسی در آزمایش پیکسی است. برای تجزیه عنصری بهتر و دقیق تر نمونه‌ها، در بسیاری از موارد ترجیح داده می‌شود از نمونه‌های نازک که بعضاً از نمونه‌های ضخیم به دست می‌آید، استفاده شود. اگر زمانی به دست آوردن یک نمونه نازک از نمونه ضخیم مشکل و در عمل غیرممکن باشد، نمونه ضخیم خود، مستقیم تحت تابش پروتون قرار می‌گیرد (Johansson & Johansson, 1976: 473-516). خوشبختانه سکه‌ها، نمونه‌های نازک در نظر گرفته می‌شوند.

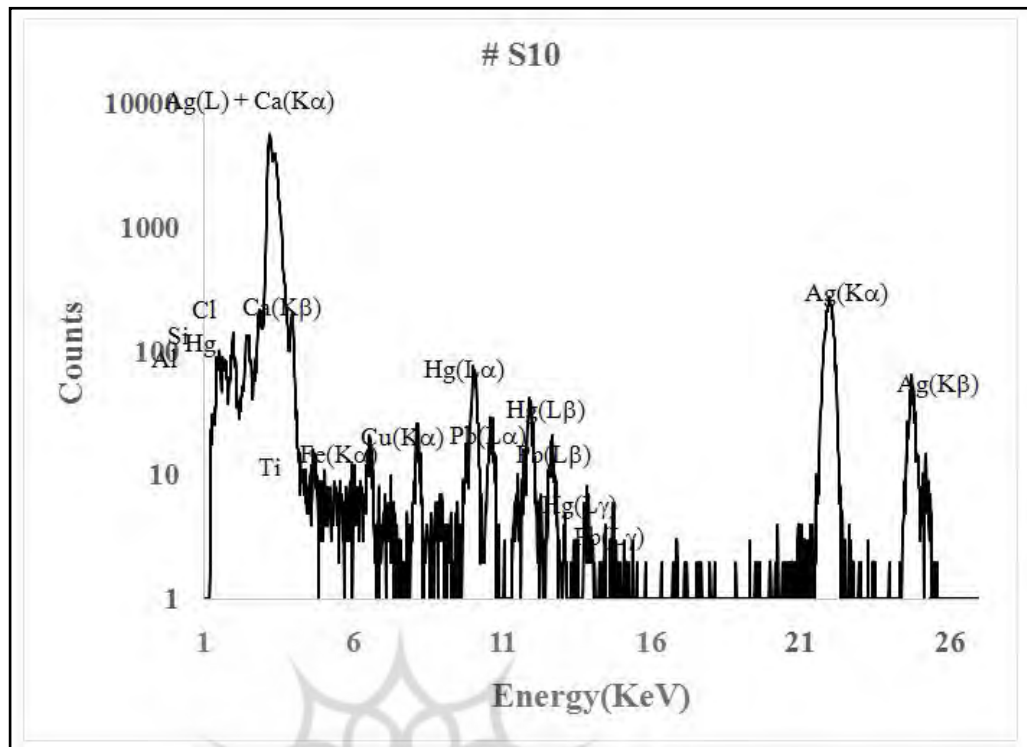
وقتی تجزیه عنصری روی مقادیر مطلق عناصر انجام می‌گیرد، روشن است که باید به آلودگی نمونه‌ها توجه شود. با توجه به این که مقادیر برخی از عناصر بسیار ناچیز هستند، اگر توجه زیادی در گذاشت و برداشت نمونه اعمال نشود، آلودگی‌هایی در همان حد ممکن است به سادگی به هدف برسند؛ بنابراین باید در انتقال نمونه‌ها دقت داشت و آن‌را به حداقل رساند و حتی می‌توان نمونه‌ها را قبل از قرار دادن در محفظه، در صورت امکان با مواد تمیزکننده، از قبیل الکل و غیره تمیز کرد (کیان‌زادگان، ۱۳۹۷: ۵).

نمونه‌های این آزمایش تا حد امکان تمیز شده و عاری از هرگونه آلودگی به مرحله آزمایش گذاشته شدند، اما باید گفت که چون سکه‌ها داده باستانی محسوب شده و ممکن است مدتی زیر خاک مدفون بوده‌اند، مقادیری کم از آلودگی به آن‌ها چسبیده و جداسازی آن نیاز به یک پروژه مرمتی بوده، اما سکه‌های مورد مطالعه از قدمت بالایی برخوردار نیستند، آلودگی چندانی نداشته و به راحتی قابل رفع بوده است و از آنجاکه نتیجه این مقاله نیز بر مقدار فلز نقره استوار است، وجود آلودگی‌ها تأثیری چندانی بر آن ندارند.

بعد از قرار گرفتن نمونه‌ها، برای جلوگیری از افت انرژی پروتون و تضعیف پرتوی ایکس گسیلی از نمونه‌ها، هوای اتاقک آزمایش را با استفاده از پمپ چرخشی و پمپ دیفیوژن تا فشار ۵-۲×۱۰^{-۵} Torr تخلیه می‌کنند. برای اندازه‌گیری غلظت عنصری نمونه‌ها از باریکه پروتون با انرژی 2 MeV^{۱۸} و جریان حدود 2-3 nA^{۱۹} استفاده می‌شود. باریکه پروتون مورد نیاز توسط آشکارساز Si (Li) اندازه‌گیری می‌شوند که در زاویه ۱۳۵ درجه نسبت به باریکه فرودی قرار گرفته و سامانه چند کانالی، طیف به دست آمده را نمایش می‌دهد. قدرت تفکیک آشکارساز Si (Li)، 170 eV^{۲۰} برای (Ka) Fe باید باشد (Gaschen et al., 2008: 535-552). در اینجا نیز هنگامی که پرتوی پروتون به سکه می‌خورد، باعث یونیزاسیون اتم‌ها در سکه و گسیل پرتوی ایکس مشخصه عنصر مورد نظر می‌شود. پرتوهای ایکس گسیل شده در آشکارساز جمع‌آوری شده و سیگنال‌هایی با شدت‌های مختلف را اثر می‌دهند که نتیجه آن طیف‌های به دست آمده است (تصویر ۳).

تحلیل طیف با استفاده از نرم‌افزار «گوپیکس»^{۲۱} انجام می‌شود که یک روش پارامتری برای تحلیل کمی به ما ارائه می‌دهد و در همه جا به طور متداول برای تحلیل طیف‌های پیکسی استفاده می‌شود. برای تحلیل ابتدا باید ماتریس هدف مشخص شود. منظور از ماتریس این است که بیشترین درصد مربوط به کدام عنصر بوده (Hajivaliei et al., 1999: 645-650) و در این پژوهش بیشترین عنصر نقره است. در مقدار درصد نهایی ممکن است مقدار کمی خطا راه یابد؛ این خطا ناشی از پارامترهای اساسی کالیبراسیون و آلودگی سطح سکه است. نتیجه آزمایش به شرح جدول ۵، آمده است.

همان‌طور که در جدول مذکور (جدول ۵) مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار عنصری را پس از نقره (Ag)، عناصر مس (Cu)، آهن (Fe)، سرب (Pb)، و طلا (Au) دارند و جزئی از تمامی سکه‌ها بوده‌اند؛ بنابراین این عناصر پرتکرار را عناصر اصلی تشکیل دهنده فلز سکه‌ها باید دانست. اما هرکدام از این عناصر چگونه تحلیل می‌شوند؟ ابتدا برای پاسخ به این پرسش باید پایین‌ترین و بالاترین حد مقدار هر عنصر مشخص گردد (جدول ۶).



تصویر ۳. نمونه طیف های آزمایشگاهی، نمونه شماره ۱۰ (نگارندگان، ۱۳۹۸).

جدول ۵. نتایج تجزیه عنصری سکه های مورد مطالعه به روش پیکسی (نگارندگان، ۱۳۹۸).

شماره	تاریخ	Al	Si	S	Cl	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Ag	Au	Hg	Pb
۱	۱۲۶۴	۰,۱۷					۰,۰۹		۲,۳۶		۶,۰۲			۹۰,۱۴	۰,۳۰		۰,۹۲
۲	۱۲۶۵					۰,۰۸	۰,۱۷	۲,۵۳	۰,۱۳	۵,۹۸				۹۰,۱۱	۰,۲۲		۰,۷۸
۳	۱۲۶۶			۰,۱۴					۱,۶۰		۶,۱۳		۰,۳۷	۹۰,۱۸	۰,۳۹	۰,۲۲	۰,۹۷
۴	۱۲۶۹	۰,۱۸				۰,۲۲			۱,۳۰	۰,۲۲	۶,۲۱			۹۰,۳۳	۰,۴۱		۰,۹۵
۵	۱۲۷۰				۰,۱۶	۰,۱۹	۰,۰۹	۱,۴۸	۰,۱۹	۶,۱۷		۰,۳۳		۹۰,۲۰	۰,۲۸		۰,۹۱
۶	۱۲۷۱			۰,۱۶	۰,۱۴	۰,۳۶	۰,۱۰	۲,۳۴	۲,۳۴	۵,۸۳				۹۰,۰۵	۰,۲۳		۰,۸۳
۷	۱۲۷۲	۰,۰۷			۰,۱۸	۰,۲۱		۱,۹۸	۱,۹۸	۶,۰۶	۰,۱۹			۹۰,۱۷	۰,۲۵		۰,۸۹
۸	۱۲۷۳							۲,۲۵	۲,۲۵	۶,۱۵	۰,۲۱			۹۰,۱۳	۰,۴۳		۰,۸۳
۹	۱۲۷۴							۲,۴۵	۲,۴۵	۶,۰۵				۹۰,۱۲	۰,۲۷	۰,۱۶	۰,۹۵
۱۰	۱۲۷۷	۰,۱۶	۰,۲۲	۰,۱۷	۰,۱۵	۰,۲۰	۰,۱۰	۱,۲۳	۱,۲۳	۰,۱۹	۵,۹۲	۰,۱۴	۰,۳۹	۹۰,۰۴	۰,۳۲		۰,۷۴
۱۱	۱۲۷۸							۲,۴۱	۲,۴۱	۶,۲۵	۰,۱۲			۹۰,۰۳	۰,۳۱		۰,۸۸
۱۲	۱۲۸۰				۰,۱۳	۰,۲۱		۴,۳۶	۴,۳۶	۹,۷۸				۸۴,۳۵	۰,۲۶		۰,۹۱
۱۳	۱۲۸۱			۰,۰۹				۴,۴۲	۴,۴۲	۹,۵۳			۰,۲۱	۸۴,۲۳	۰,۳۳	۰,۱۹	۰,۷۷
۱۴	۱۲۸۲	۰,۱۳	۰,۲۱					۴,۱۹	۴,۱۹	۹,۶۲	۰,۲۱	۰,۱۹		۸۴,۴۱	۰,۲۱		۰,۸۳
۱۵	۱۲۸۳							۴,۷۴	۴,۷۴	۹,۴۸	۰,۱۰			۸۴,۳۸	۰,۳۱		۰,۹۹
۱۶	۱۲۸۷	۰,۱۶						۴,۶۴	۴,۶۴	۹,۳۲				۸۴,۳۶	۰,۴۱	۰,۱۸	۰,۷۵
۱۷	۱۲۸۸		۰,۱۴				۰,۰۸	۴,۳۷	۴,۳۷	۹,۵۶			۰,۳۴	۸۴,۲۹	۰,۳۸		۰,۸۴

مقدار خلوص نقره این سکه ها بین ۸۴,۲۳ تا ۹۰,۳۳٪ بوده که اختلاف مقدار ۶,۱۰٪ بین بالاترین و پایین ترین حد خلوص نقره مشاهده می شود، اما این اختلاف مقدار چگونه پدید آمده است؟ باتوجه به جدول ۵ و ستون درصد خلوص نقره، می توان تغییرات خلوص نقره را در طی کل دوران ضرب این سکه ها مشاهده نمود؛ بین سال های ۱۲۶۴-۱۲۷۸ ه.ق. میانگین ۹,۱۳٪

جدول ۶. میزان حد پایین‌ترین و بالاترین مقدار عناصر اصلی فلز سکه‌های مورد مطالعه (نگارندگان، ۱۳۹۸).

طلا	سرب	آهن	مس	نقره	*
۰,۲۱	۰,۷۴	۱,۲۳	۵,۸۳	۸۴,۲۳	پایین‌ترین
۰,۴۳	۰,۹۹	۴,۷۴	۹,۷۸	۹۰,۳۳	بالاترین

خلوص نقره بوده، اما در بین سال‌های ۱۲۸۸-۱۲۸۰ ه.ق. با میانگین ۸۴,۳۳٪ خلوص نقره، افول کیفیت و افت ارزش قران‌های ضرب طبرستان محسوس می‌گردد.

فلز مس به صورت طبیعی با مقادیری کمتر از ۲٪ در فلز سکه‌ها وجود دارد، اما اگر این مقدار بیشتر از این باشد، نمی‌توان آن را طبیعی قلمداد کرد و حتماً آمیختگی اختیاری صورت پذیرفته است (Hughes & Hall, 1979: 321-344). سکه‌های این پژوهش دارای مقدار ۵,۸۳ تا ۹,۷۸٪ مس است که اختلاف مقدار ۳,۹۵٪ بین بالاترین و پایین‌ترین حد خلوص مس مشاهده می‌شود؛ باتوجه به جدول ۵ و ستون درصد خلوص مس، می‌توان تغییرات خلوص مس را در بین سال‌های ۱۲۶۴-۱۲۷۸ ه.ق. با میانگین ۶,۰۷٪ و در بین سال‌های ۱۲۸۸-۱۲۸۰ ه.ق. با میانگین ۹,۵۴٪، شاهد بود که این می‌تواند نشان‌دهنده آمیختگی اختیاری این فلز جهت پایین آوردن مقدار خلوص نقره باشد.

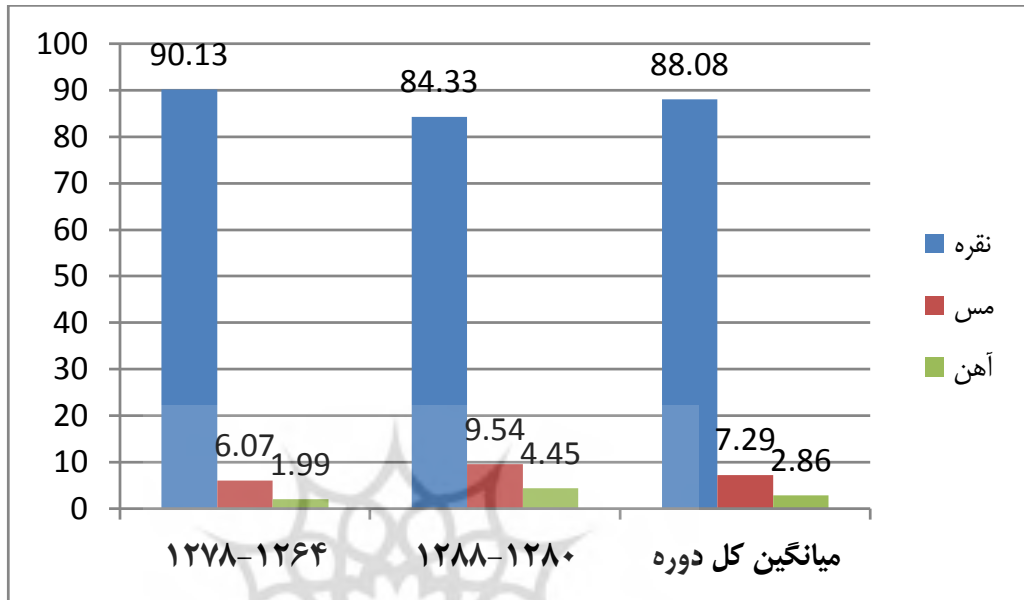
همچنین وجود عنصر آهن به‌گونه معمول، به واسطه آلودگی سطح که ناشی از محیط دفن شدن سکه‌ها بوده (Flament & Marchetti, 2004: 179-184)، اما سکه‌های این پژوهش مقداری ناچیزی از آهن را در خود جای نداده و سکه‌های پیداشده از دل خاک نبوده‌اند، بلکه از مقداری بین ۱,۲۳ تا ۴,۷۴٪ آهن برخوردارند که اختلاف مقدار ۳,۵۱٪ بین بالاترین و پایین‌ترین حد خلوص آهن مشاهده می‌شود؛ باتوجه به جدول ۵ و ستون درصد خلوص آهن، می‌توان تغییرات خلوص آهن را در بین سال‌های ۱۲۶۴-۱۲۷۸ ه.ق. با میانگین ۱,۹۹٪ و بین سال‌های ۱۲۸۸-۱۲۸۰ ه.ق. با میانگین ۴,۴۵٪ در نظر گرفت که این نشانه‌ای از آلیاژ کردن آن برای تنظیم عیار فلز سکه‌ها بوده است.

در حال حاضر حدود نصف نقره موجود در جهان از معادن سرب استخراج می‌شود (Hughes & Hall, 1979: 321-344)، بنابراین اگر سرب نیز با مقادیر کمی (۱٪ و کمتر از آن) در سکه‌های نقره مشاهده شود، جای شگفتی نیست؛ اما این مقدار سرب در فرآیند استحصال نقره جدا می‌شود و اگر چنین نباشد، می‌تواند نشان‌دهنده تعجیل و عدم دقت کافی در استحصال فلز نقره باشد (Flament & Marchetti, 2004: 179-184). سکه‌های مورد پژوهش نیز مقدار میانگین ۰,۸۶٪ سرب را در خود جای داده که استفاده از معادن سرب، و تعجیل و عدم دقت کافی در استحصال نقره را نشان می‌دهد.

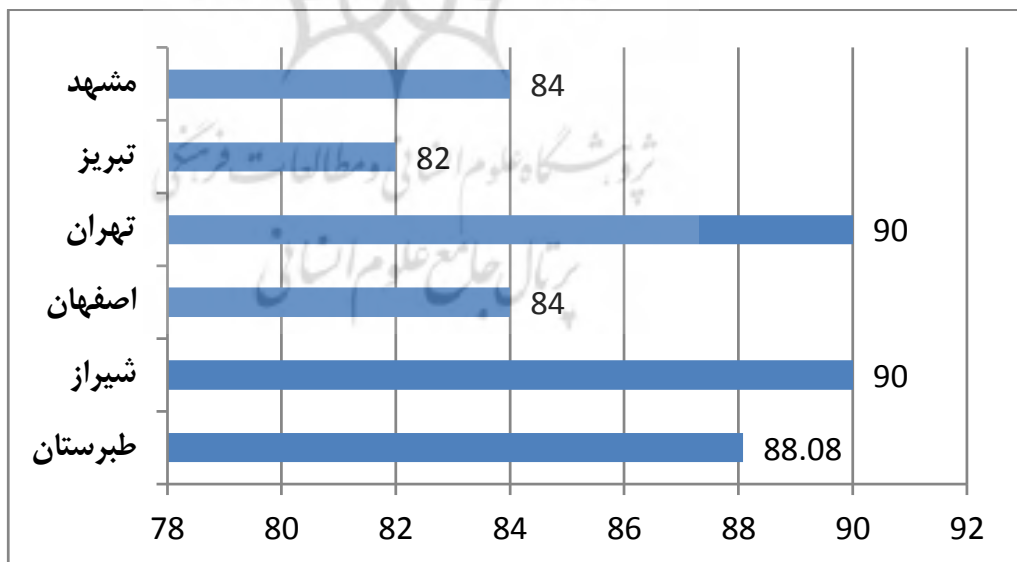
معادن سربی که از آن‌ها نقره نیز استخراج می‌شود در دو گروه «سروزیت»^{۲۲} و «گالنا»^{۲۳} قرار می‌گیرند، بنابراین اگر نقره استفاده شده در سکه‌ها از معادن سروزیت به دست آمده باشد، مقدار طلای موجود در آن باید به‌طور تقریبی بین ۰,۲ تا ۱,۵٪ متغیر باشد؛ اما اگر از معادن گالنا استخراج شده باشد، مقدار طلای موجود در آن کمتر از ۰,۲٪ است (Meyers, 2003: 271). پس، سکه‌های مورد پژوهش، مقدار میانگین ۰,۳۱٪ طلا در ساختار آن‌ها دیده می‌شود که می‌تواند نشان‌دهنده استفاده از معادن سروزیت باشد.

باتوجه به جدول ۱، رابینو مقدار خلوص نقره سکه‌های ضربخانه‌های اصلی، یعنی مشهد ۸۴٪، تبریز ۸۲٪، تهران ۹۰٪، اصفهان ۸۴٪، و شیراز را ۹۰٪ به دست آورده است (Rabino, 1892).

37؛ حال، این پژوهش با به آزمایش گذاردن قران‌های طبرستان در تمامی تاریخ‌های ضرب، روند تغییرات میزان خلوص نقره را در دو بازه زمانی بین تاریخ‌های ۱۲۶۴-۱۲۷۸ ه.ق. با میانگین ۹۰٫۱۳٪، و بین تاریخ‌های ۱۲۸۰-۱۲۸۸ ه.ق. با میانگین ۸۴٫۳۳٪، تبیین ساخته و میانگین خلوص نقره سکه‌های ضرب شده در این دوره را ۸۸٫۰۸٪ محاسبه نموده است (نمودارهای ۱ و ۲).



نمودار ۱. نمودار تغییرات مقدار خلوص نقره، مس، و آهن در بین سال‌های ۱۲۶۴-۱۲۸۸ ه.ق. (نگارندگان، ۱۳۹۸).



نمودار ۲. میزان خلوص نقره سکه‌های ضربخانه‌های اصلی در مقابل ضربخانه طبرستان (نگارندگان، ۱۳۹۸).

نتیجه‌گیری

ایالت طبرستان به دلیل موقعیت‌های اقتصادی و تجاری فراوان همیشه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده، علاوه بر آن جایگاه سیاسی بالایی برای حکمرانان قاجاری نیز داشته است؛ بنابراین ضرورت،

از دیر هنگام ضربخانه فعالی تا سال ۱۲۸۸ ه.ق. در این شهر دایر بود. با تشکیل حاکمیت صفوی، ضرب سکه نظام مند و به تبعیت از قوانین سخت‌گیرانه پایتخت و برخی از شهرهای مرکزی درآمد. دوره قاجار نیز تا به سلطنت رسیدن ناصرالدین شاه از دایره این قوانین نظام مند خارج نبود.

در عصر ناصری، نظام پولی از هم گسیخته و در هر شهر قران‌های نقره با عیار متفاوت به ضرب می‌رسید که از نظر نرخ تبدیل با تومان‌های طلای پایتخت برابر نبود. در این میان، ضربخانه طبرستان، قران‌های نقره فراوانی با عیارهای متفاوت، بین سال‌های ۱۲۸۸-۱۲۶۴ ه.ق. به ضرب رسانده بود؛ بنابراین با توجه به این مسأله دو پرسش مطرح گردید: مقدار خلوص نقره سکه‌های ضرب شده در طبرستان چگونه بوده و سیر تغییرات آن چگونه رقم خورده است؟ سکه‌های ایالت طبرستان، در جایگاه ایالتی مهم، در برابر شهرها و ایالات مهم دیگر ایران، نظیر مشهد، تبریز، تهران، اصفهان، و شیراز چگونه بوده است؟

مطالعات باستان‌سنجی به ویژه تجزیه عنصری، کمک خوبی برای سنجیدن عیار مسکوکات (و در اینجا سنجش میزان خلوص نقره) است. پس برای پاسخ دادن به این پرسش‌ها، تعداد ۱۷ سکه متفاوت از نظر تاریخ که در بین سال‌های ۱۲۸۸-۱۲۶۴ ه.ق. در طبرستان به ضرب رسیده بودند، برای تجزیه عنصری به روش پیکسی به مؤسسه فیزیک بوبانسور منتقل گردید. با توجه به نتایج آزمایش پیکسی، عنصر نقره به همراه عناصر مس و آهن، فلزات اصلی برای تحلیل قدرت اقتصادی ایالت طبرستان در عصر ناصری قرار گرفت که مقادیر خلوص آن‌ها در سه دوره، تغییرات عمده‌ای داشته است، به شرح ذیل:

۱- ۱۲۶۴-۱۲۷۸ ه.ق. نقره (۹۰٫۱۳٪)، مس (۶٫۰۷٪) و آهن (۱٫۹۹٪)؛

۲- ۱۲۸۰-۱۲۸۸ ه.ق. نقره (۸۴٫۳۳٪)، مس (۹٫۵۴٪) و آهن (۴٫۴۵٪)؛

۳- میانگین کل دوران: نقره (۸۸٫۰۸٪)، مس (۷٫۲۹٪) و آهن (۲٫۸۶٪).

هرچند که مقدار خلوص نقره سکه‌های ضرب طبرستان در دو دوره کاهش یافته و دستخوش تغییرات شده، اما عیار نقره با میانگین ۸۸٫۰۸٪ در دوران ضرب در مقابل ضربخانه‌های اصلی، یعنی مشهد با میانگین ۸۴٪، تبریز با میانگین ۸۲٪، تهران با میانگین ۹۰٪، اصفهان با میانگین ۸۴٪، و شیراز با میانگین ۹۰٪ بسیار بالا بوده، و این به صورت عمومی نشان‌دهنده رونق و قدرت اقتصادی ایالت طبرستان در عصر ناصری است.

عنصر مس به صورت طبیعی با مقادیری کمتر از ۲٪ در فلز سکه‌ها وجود، اما اگر این مقدار از بیشتر از این باشد، نمی‌توان آن را طبیعی قلمداد کرد و حتماً آمیختگی اختیاری صورت پذیرفته است. سکه‌های این پژوهش دارای مقدار میانگین ۷٫۲۹٪ مس بوده که آمیختگی عمدی جهت عیار کردن فلز سکه را نشان می‌دهد. وجود عنصر آهن نیز به واسطه آلودگی سطح که ناشی از محیط دفن شدن سکه‌ها است، اما سکه‌های این پژوهش، سکه‌های پیداشده از دل خاک نبوده و مقدار بیشتری از آهن را در خود جای داده‌اند. این سکه‌ها از مقدار میانگین ۲٫۸۶٪ آهن برخوردارند که نیز نشانه‌ای از عیار زدن آن برای تنظیم عیار فلز سکه‌ها بوده است.

علاوه بر آن به دلیل وجود عنصر سرب با مقدار میانگین ۰٫۸۶٪ نشانگر استفاده از معادن سرب برای فلز نقره، و تعجیل و عدم دقت کافی در استحصال آن بوده است؛ همچنین معادن سرب به دو گونه سروزیت و گالنا تقسیم می‌شوند که معادن سروزیت بین ۰٫۲ تا ۱٫۵٪ و معادن گالنا کمتر از ۰٫۲٪ عنصر طلا را در خود جای داده‌اند. پس در ساختار این سکه‌ها مقدار میانگین ۰٫۳۱٪ طلا وجود دارد که این نیز می‌تواند نشان‌دهنده استفاده از معادن سروزیت باشد.

پی‌نوشت

1. PIXE
2. Institute of Physics, Bhubaneswar (IOPB)
3. X-Ray Diffraction (XRD)
4. X-Ray Fluorescence (XRF)
5. Particle-Induced X-Ray Emission (PIXE)
6. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)
7. Neutron Activation Analysis (NAA)
8. External PIXE
9. MicroPIXE
10. Proton-Induced X-Ray Fluorescence (PIXRF)
11. J. R. Oppenheimer
12. R. W. Dodson
13. Brookhaven National Laboratory
14. Banking in Persia

۱۵. نگارندگان تاکنون سکه‌ای از ناصرالدین شاه قاجار، ضرب طبرستان به تاریخ ۱۲۹۲ ه.ق. در هیچ منبعی یافت نکرده‌اند؛ لذا احتمال بر این می‌رود که رابینو در مقاله خود، به اشتباه تاریخ ضرب این سکه را آورده است.

16. Tandem Pelletron Accelerator

۱۷. «تور» یکی از یکه‌های غیر SI برای اندازه‌گیری فشار است و ۱ اتمسفر استاندارد برابر ۷۶۰ تور است. این یکه به گونه‌ای گزینش شده است که با تقریب خوبی برابر فشار حاصل از یک میلی‌متر جیوه باشد؛ بنابراین فشار ۱ تور تقریباً برابر با فشار حاصل از یک میلی‌متر جیوه است. این یکه به یاد اوانجلیستا توریچلی (Evangelista Torricelli)، فیزیک‌دان و ریاضی‌دان ایتالیایی که اصول عملکرد فشارسنج را در ۱۶۴۴ م. کشف کرد، نام‌گذاری شده است.

18. Mega Electron Volt
19. Nano Ampere
20. Electron Volt
21. GUPIX
22. Cerussite
23. Galena

سپاسگزاری

در پایان نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای سیدحسن سادات رضوی (مجموعه‌دار سکه‌های دوره قاجار)، سرکار خانم اکرم حسینی (عضو هیأت علمی گروه زبان و ادبیات انگلیسی دانشگاه امام‌رضا علیه‌السلام)، جناب آقای محمدحسین رضایی (استادیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه نیشابور)، سرکار خانم زهره جوزی (استادیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان) و جناب آقای سیدعلی سیدموسوی (دانشجوی کارشناسی ارشد باستان‌شناسی دانشگاه نیشابور)، به جهت کمک‌های فراوانشان سپاسگزاری نمایند.

کتابنامه

- اسماعیل زاده‌کیوی، سینا (۱۳۹۲). «مطالعه اشیاء مکشوفه از بافت تاریخی اردبیل و محوطه تاریخی مجموعه شیخ‌صفا الدین اردبیلی با روش گسیل پرتو ایکس با تابش پروتون (PIXE)». پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی (منتشر نشده).
- اولیایی، پروین؛ آفریده، حسین؛ و آقاعلی‌گل، داوود (۱۳۹۴). «مطالعه آماری سکه‌های نقره هخامنشی، اشکانی و ساسانی با استفاده از آنالیز عنصری به روش پیکسی». مطالعات باستان‌شناسی، دوره ۷، شماره ۱، صص: ۲۸-۱۷.
- خادمی‌ندوشن، فرهنگ؛ محقق، مریم؛ هژبری‌نوبری، علیرضا؛ و مسجدی‌خاک، پرستو (۱۳۹۴). «بررسی اوضاع سیاسی-اقتصادی حکومت اشکانیان در سال‌های ۲-۵۷ ق.م. (دوران پادشاهی ارد دوم و فرهاد چهارم) براساس ترکیبات شیمیایی سکه‌های نقره با روش آزمایشگاهی PIXE». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، شماره ۸، صص: ۶۶-۵۳.

- عقیلی، عبدالله (۱۳۷۷). دارالضرب‌های ایران در دوره اسلامی. تهران: بنیاد موقوفات دکتر محمود افشاریزدی.

- کیان‌زادگان، سوسن (۱۳۹۷). «تحلیل قدرت اقتصادی در دوره پیروز ساسانی به کمک آزمایش PIXE: مطالعه موردی سکه‌های مکشوفه از پیروزگت (چابهار، بلوچستان ایران)». پایان‌نامه کارشناسی ارشد تاریخ دانشگاه فردوسی مشهد (منتشر نشده).

- کیان‌زادگان، سوسن؛ رجائی، سیدجلال؛ مسجدی‌خاک، پرستو؛ و سعادت‌مهر، محمدامین (۱۳۹۸). «تجزیه عنصری سکه‌های پیروز ساسانی به روش پیکسی (PIXE)، مطالعه موردی: سکه‌های گنجینه پیروزگت کشف‌شده از روستای تیس چابهار». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، شماره ۲۲، صص: ۱۹۶-۱۸۱.

- لامعی‌رشتی، محمد (۱۳۸۲). «نقش تحلیل عنصری در باستان‌سنجی: تجزیه آزمایشگاه واندوگراف». مجموعه مقالات نخستین همایش باستان‌سنجی در ایران: نقش علوم پایه در باستان‌شناسی، به‌کوشش: مسعود آذرنوش، تهران: سازمان میراث‌فرهنگی کشور (پژوهشکده باستان‌شناسی)، صص: ۹۲-۷۵.

- لامعی‌رشتی، محمد؛ شکوهی، فرح؛ و اولیایی، پروین (۱۳۸۱). «معرفی روش پیکسی خارجی در آنالیز مرکب و کاغذ قدیمی». نامه بهارستان، دوره ۲، شماره ۶، صص: ۴۳۶-۴۳۱.

- مته، رودی؛ فلور، ویلم؛ و کلاوسون، پاتریک (۱۳۹۶). تاریخ پولی ایران از صفویه تا قاجاریه. ترجمه جواد عباسی، تهران: نامک.

- نوین‌فرح‌بخش، هوشنگ (۱۳۸۵). راهنمای سکه‌های ضربی (چکشی) ایران. چاپ سوم، تهران: فرح‌بخش.

- Abbott, K. E., (1983). *Cities & Trade: Consul Abbott on the Economy and Society of Iran 1847-1866*. Edited by A. Amanat, London: Ithaca.

- Album, S., (2011). *Checklist of Islamic Coins*. 3th Edition, Santa Rosa: Stephen Album Rare Coins.

- Ambrosino, G. & Pindrus, P., (1953). "Analyse non Destructive d'Objets Métalliques Anciens". *La Revue de Métallurgie Available*, Vol. 50, NO. 2, Pp: 136-138.

- Beck, L.; Bosonnet, S.; Reveillon, S.; Eliot, D.; & Pilon, F., (2004). "Silver Surface Enrichment of Silver-Copper Alloys: A Limitation for the Analysis of Ancient Silver Coins by Surface Techniques". In: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Vol. 226, NO. 1-2, Pp: 153-162.

- Bradley-Birt, E. B., (1909). *Persia – Through Persia from the Gulf to the Caspian*. New York: E. P. Dutton and Co.

- Flament. C. & Marchetti, P., (2004). "Analysis of ancient silver coins". In: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Vol. 226, NO. 1-2, Pp: 179-184.

- Gaschen, A. A-M.; Döbeli, M.; Markwitz, A.; Barry, B.; Ulrich-Bochsler, S.; & Krähenbühl, U., (2008). "Restrictions on Fluorine Depth Profiling for Exposure Age Dating in Archaeological Bones". *Journal of Archaeological Science*, Vol. 35, No. 3, Pp: 535-552.

- Gordon, B. M. & Kraner, H. W., (1972). "On the Development of a System for Trace Element Analysis in the Environment by Charged Particle X-Ray Fluorescence". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 12, No. 2, Pp: 181-188.
- Hajivaliei, M.; Garg, M. L.; Handa, D. K.; Govil, K. L.; Kakavand, T.; Vijayan, V.; Singh, K. P.; & Govil, I. M., (1999). "PIXE Analysis of Ancient Indian Coins". In: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Vol. 150, No. 1-4, Pp: 645-650.
- Harbottle, G., (1986). "Twenty-five years of research in the analysis of archaeological artifacts and works of art". In: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B Beam Interactions with Materials and Atoms*, Vol. 14, No. 1, Pp: 10-15.
- Heritage Auctions, 6-7 Jan 2013, Ancient & World Coins Signature Action, Dallas: Heritage Auctions.
- Hughes, M. J. & Hall, J. A., (1979). "X-Ray Fluorescence Analysis of Late Roman and Sassanian Silver Plate". *Journal of Archaeological Science*, Vol. 6, No. 4, Pp: 321-344.
- Johansson, S. A. E.; & Johansson, T. B., (1976). "Analytical Application of Particle Induced X-Ray Emission". In: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Vol. 137, No. 3, Pp: 473-516.
- Johansson, T.; Akselsson, R.; & Johansson, S., (1970). "X-Ray Analysis: Elemental Trace Analysis at the 10-12g Level". In: *Nuclear Instruments and Methods*, Vol. 84, No. 1, Pp: 141-143.
- Landor, A. H. S., (1902). *Across Coveted Lands*. Vol. 1, London: Charles Scribners Son.
- Meyers, P., (2003). "Production, Distribution, and Control of Silver: Information Provided by Elemental Composition of Ancient Silver Objects". *Patterns and Process: a Festschrift in Honor of Dr. Edward V. Sayre, Suitland: Smithsonian Center for Materials Research and Education*, Pp: 271-288.
- Michael, T., (2015). *Standard Catalog of World Coins 1801-1900*. 8th Edition, Iola: Krause Publications.
- Rabino, J., (1892). "Banking in Persia". *Journal of the Institute of Bankers*, No. 13, Pp: 1-56.