

Economic Strength of Astarabad during the reign of Naser al-din Shah Qajar (1848-1896): Elemental Analysis of Naseri Silver Qirans Multiplied in Astarabad using PIXE Method

Hossein Kuhestani Andarzi¹ | Saman Farzin² | Zohre Jozi³ | MuhammadAmin Saadat-Mehr⁴

Abstract:

Purpose: During the reign of Naser al-Din Shah Qajar, there were multiple versions of silver Qirans. A version was struck in the northeast region of Astarabad. Although all versions nominally followed that of Tehran, as each city had an autonomous military system, in practice coins of most regions were struck with different amounts of silver purity. This article tends to gauge the economic power of Astarabad and compared it with other regions including Mashhad, Tabriz, Isfahan, and Shiraz, by measuring the silver purity of its coins.

Method and Research Design: Elemental analysis of coins of this period using the PIXE method was the main basis of this research and 22 coins on 22 different dates were elementally analyzed.

Finding and Conclusion: Changes in the purity of silver on average in periods between 1849-1857 AH. 90.10%, 1860-1871 AH. 86.56%, 1873-1876 AH. 84.20%. Overall, throughout the three periods, it multiplied by 87.42%. This explains the position of Astarabad coins to those of Mashhad (84%), Tabriz (82%), Tehran (90%), Isfahan (84%), And Shiraz (90%). This research showed how to change the grade of coins with copper and iron metals, and the type of silver mines used, namely Cerussite mines.

Keywords: Astarabad, Economics, PIXE Experiment, Naser al-Din Shah Qajar, Numismatics.

Citation: Kohestani, H., Farzin, S., Jouzi, Z., Saadat- Mehr, M. (2021). Economic Strength of Astarabad during the reign of Naser al-din Shah Qajar (1848-1896): Elemental Analysis of Naseri Silver Qirans Multiplied in Astarabad using PIXE Method. *Ganjine-ye Asnad*, 31(2), 166-190 | doi: 10.30484/ganj.2021.2672

**GANJINE-YE
ASNAD**
Historical Research &
Archival Studies Quarterly

Research paper

1. Assistant professor, Department of Archeology, University of Birjand, Birjand, I. R. Iran
hkohestani@birjand.ac.ir

2. Assistant professor Department of Archeology, University of Birjand, Birjand, I. R. Iran,
(Corresponding Author)
farzin@birjand.ac.ir

3. Assistant professor, Department of Archeology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, I. R. Iran
Zj332244@gmail.com

4. Ph.D. Student of Archeology, University of Mazandaran, Babolsar, I. R. Iran
ma.saadatmehr@gmail.com

Copyright © 2021, NLAI (National Library & Archives of I. R. Iran). This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and adapt the material for any purpose.



Ganjine-Ye Asnad

«122»

Peer-reviewed Journal | National Library & Archives of I. R. Iran, Archival Research Institute

ISSN: 1023-3652 | E-ISSN: 2538-2268

Digital Object Identifier(DOI): ۱۰,۳۰۴۸۴/GANJ.۲۰۲۱,۲۶۷۲

Indexed by Google Scholar, Researchgate, ISC, SID & Iran Journal | <http://ganjineh.nlai.ir>

Vol. 31, No. 2, summer 2021 | pp: 166 - 190 (25) | Received: 24, May, 2020 | Accepted: 4, Apr. 2021

Archival research



فصلنامه تحقیقات تاریخی
و مطالعات آرشیوی

مقاله پژوهشی

۱. استادیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
hkoolestani@birjand.ac.ir
۲. استادیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران (نویسنده مسئول)
farzin@birjand.ac.ir
۳. استادیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
Zj332244@gmail.com
۴. دانشجوی دکتری گروه باستان‌شناسی دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
ma.saadatmehr@gmail.com



قدرت اقتصادی شهر آسترآباد در عصر ناصری از راه تجزیه پیکسی عناصر قران‌های نقره ناصرالدین شاه قاجار ضرب شده در آسترآباد

حسین کوهستانی اندرزی^۱ | سامان فرزین^۲ | زهره جوزی^۳ | محمدامین سعادت‌مهر^۴

چکیده:

هدف: در دوره ناصرالدین شاه قاجار قران‌های نقره فراوانی بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۹۲ ق در ضرب‌خانه آسترآباد ضرب شد. نظام ضرب سکه شهرها در دوره ناصری هرچند به صورت اسمی پیرو نظام تهران بود، ولی در عمل هر شهر نظامی خودمختار داشت و سکه بیشتر شهرها با مقادیر متفاوت خلوص نقره ضرب می‌شد. این مقاله برآن است تا علاوه بر سنجش مقدار خلوص نقره و سیر تغییرات آن در سکه‌های ضرب آسترآباد، قدرت اقتصادی آسترآباد را تبیین کند و با شهرهای مهمتر در عصر قاجار، یعنی مشهد، تبریز، اصفهان، و شیراز مقایسه کند.

روش / رویکرد پژوهش: ۲۲ سکه متعلق به ۲۲ تاریخ دوره ناصرالدین شاه با استفاده از شیوه پیکسی تجزیه عنصری شد.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: میانگین خلوص نقره سکه‌های ضرب آسترآباد در دوره ناصرالدین شاه بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۷۳ ق ۹۰/۱۰٪، بین سال‌های ۱۲۷۶-۱۲۸۷ ق ۸۶/۵۶٪، بین سال‌های ۱۲۸۹-۱۲۹۲ ق ۸۴/۲۰٪، و میانگین سه دوره ۸۷/۴۲٪ یافته شد. میانگین خلوص نقره سکه‌های ضرب مشهد (۸۴٪)، تبریز (۸۲٪)، تهران (۹۰٪)، اصفهان (۸۴٪)، و شیراز (۹۰٪) بود. در آخر نیز اطلاعاتی ارزشمند از نحوه تغییر عیار فلز سکه‌ها با فلزات مس و آهن، و نوع معادن نقره استفاده شده، یعنی معادن سروریت به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: آسترآباد؛ اقتصاد؛ آزمایش پیکسی؛ ناصرالدین شاه قاجار؛ سکه‌شناسی.

استناد: کوهستانی، حسین، فرزین، سامان، جوزی، زهره، سعادت‌مهر، محمدامین. (۱۴۰۰). قدرت اقتصادی شهر آسترآباد در عصر ناصری از راه تجزیه پیکسی عناصر قران‌های نقره ناصرالدین شاه قاجار ضرب شده در آسترآباد. گنجینه اسناد، ۳۱(۲)، ۱۶۶-۱۹۰ | doi: ۱۰,۳۰۴۸۴/ganj.۲۰۲۱,۲۶۷۲

گنجینه اسناد

«۱۲۲»

فصلنامه علمی | سازمان اسناد و کتابخانه ملی ج.ا.ایران - پژوهشکده اسناد

شاپا (چاپی): ۱۰۲۳-۳۶۵۲ | شاپا (الکترونیکی): ۲۵۳۸-۲۲۶۸

شناسانه برنمود رقمی (DOI): ۱۰,۳۰۴۸۴/GANJ.۲۰۲۱,۲۶۷۲

نمایه در Google Scholar, Researchgate, SID, ISC و ایران ژورنال | http://ganjineh.nlai.ir

سال ۳۱، دفتر ۲، تابستان ۱۴۰۰ | صص: ۱۶۶ - ۱۹۰ (۲۵)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۴ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۱۵

تحقیقات آرشیوی

۱. مقدمه

شهر استرآباد به دلیل موقعیت‌های اقتصادی و تجاری فراوان همیشه اهمیت ویژه‌ای داشته‌است؛ علاوه بر این جایگاه سیاسی بالایی هم برای حکمرانان قاجاری داشته‌است؛ از این رو از دوران سامانی سکه‌هایی با نام این شهر و تابع نظام پولی حکومتی ضرب می‌شد (عقیلی، ۱۳۷۷، ص ۷۸). سازوکار حکومت‌ها در راستای تضمین ارزش پول براساس عیار فلز آن بود؛ بدین نحو که قوانینی وضع می‌کردند و کارگزارانی برای نظارت بر آن تعیین می‌کردند. نظام پولی دوره قاجار بر پایه قوانین عصر صفوی بنا شده بود. نظام مزبور در عصر ناصری نابه‌سامان شد، چون قران‌های نقره در شهرهای مختلف با عیارهای متفاوت ضرب می‌شد و نرخ تبدیل آن‌ها به تومان‌های طلا بسیار متفاوت بود. در واقع پول‌های رایج در هر شهر با همان ارزش اسمی در شهرهای دیگر پذیرفته نمی‌شد و فقط در صورت کسر مبلغی با عنوان نرخ تسعیر، قابل پذیرش و تبدیل بود و این یعنی هر شهری برای خود پولی محلی داشت (مته و دیگران، ۱۳۹۶، صص ۴۴ و ۲۸۱-۲۸۲). استرآباد نیز از این موضوع مستثنا نبود و قران‌های نقره محلی بسیاری با ارزش نامشخص و به صورت پراکنده بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۹۲ اقدر این شهر ضرب شد.

این سکه‌ها را می‌توان استادی ارزشمند در داده‌های باستان‌شناختی دانست، زیرا به همان عصر تعلق دارند و با هدف خوانش مجدد پدیده نیامده‌اند (کیان‌زادگان و دیگران، ۱۳۹۸، ص ۱۸۲). تجزیه عنصری سکه‌های این دوره، با استفاده از روش‌های باستان‌سنجی^۱، می‌تواند اطلاعاتی ارزشمند از وضعیت سیاسی-اقتصادی در اختیار ما گذارد تا تحلیلی بهتر از وضعیت دوران مورد پژوهش ارائه شود (Beck et al., 2004, pp 153-162). بنابراین دو پرسش مطرح می‌شود:

درصد خلوص عناصر سکه‌های نقره ضرب شده در استرآباد چقدر بوده و سیر تغییرات آن چگونه رقم خورده‌است؟

درصد خلوص نقره سکه‌های ضرب شده در استرآباد، در جایگاه یک شهر اقتصادی مهم، در مقایسه با شهرهای مهم دیگر ایران، نظیر مشهد، تبریز، تهران، اصفهان، و شیراز چقدر بوده‌است؟

در پژوهش حاضر سعی بر آن است که علاوه بر تلفیق نگاه‌های تاریخی و اطلاعات سکه‌شناسی، نتایج تجزیه عنصری سکه‌های ضرب شده در استرآباد در تمامی تاریخ‌های ضرب، با روش پیکسی بررسی شود تا تحلیلی از نحوه عملکرد و تعهد این ضرب‌خانه به نظام مرکزی ضرب مسکوکات در مقایسه با سایر شهرهای اصلی ایران عصر قاجار عرضه شود.

1. Archaeometry
2. PIXE



در بررسی و اندازه گیری ترکیبات عنصری نمونه‌ها و اشیاء باستانی، روش‌های متفاوتی نظیر پراش پرتوی ایکس^۱، فلورسنس پرتوی ایکس^۲، گسیل پرتوی ایکس ناشی از ذرات^۳، طیف‌سنجی جذب اتمی^۴، تجزیه‌فعال‌سازی نوترونی^۵، و... استفاده می‌شود (خادمی ندوشن و دیگران، ۱۳۹۴، ص ۵۴). برای مطالعه سکه‌های پژوهش حاضر از میان روش‌های تجزیه عنصری، از روش پیکسی به دلیل سرعت، و دقت زیاد و از همه مهم‌تر تخریب‌نکردن نمونه‌ها (Linke et al., 2004, pp 172-178)، استفاده شده است. این روش انواع گوناگونی را برای مطالعات باستان‌سنجی ارائه می‌دهد؛ نظیر: پیکسی متعارف، پیکسی با باریکه خارجی^۶، میکروپیکسی^۷ و فلورسنس پرتوی ایکس ناشی از پروتون^۸ (لامعی رشتی، ۱۳۸۲، صص ۷۵-۹۲). پیکسی متعارف روشی متداول برای تجزیه عنصری نمونه‌های همگن از جمله سکه‌ها محسوب می‌شود؛ بنابراین پایه پژوهش حاضر بر پیکسی متعارف قرار گرفت. در نمونه‌های همگن، ترکیبات تشکیل‌دهنده نمونه به صورت یکنواخت توزیع می‌شود و در صورت غیرهمگن بودن نمونه‌ها می‌توان از روش‌های دیگر مانند میکروپیکسی و... استفاده کرد (اسماعیل زاده کیوی، ۱۳۹۲، ص ۲۸).

سکه‌های مورد مطالعه، به مجموعه شخصی سیدحسن سادات رضوی (حیدرآباد، ایالت تلانگانا، هند) متعلق است که به رسم امانت در اختیار نویسندگان قرار گرفت. این سکه‌ها در تاریخ‌های ۱۲۶۵-۱۲۶۷، ۱۲۶۹-۱۲۷۳، ۱۲۷۶-۱۲۸۴، ۱۲۸۷، و ۱۲۸۹-۱۲۹۲ ق در استراباد ضرب شده‌اند و از نظر تاریخ ضرب ۲۲ سکه متفاوت را دربر می‌گیرند. از هر تاریخ ضرب، یک سکه در نظر گرفته شد و در مؤسسه فیزیک بوبانسور^۹ (ایالت اوریسا، هند)، با روش پیکسی آزمایش شد.

پیشینه پژوهش

با تأسیس بانک شاهنشاهی ایران و معلوم نبودن ارزش دقیق سکه‌های نقره ضرب‌خانه‌های محلی، رابینو (رئیس وقت بانک شاهنشاهی) شخصی را برای تجزیه عنصری قران‌های نقره عصر ناصری مأمور کرد تا فهرستی از ارزش واقعی سکه‌های نقره نسبت به فرانک فرانسه تهیه شود. پیکن از بیشتر ضرب‌خانه‌های محلی، سکه‌ای تهیه کرد و آن‌ها را با روش‌های سنتی تجزیه کرد؛ رابینو نیز نتایج آن را در سال ۱۸۹۲ م (۱۳۰۹ ق) در مقاله‌ای با عنوان «بانکداری در ایران»^{۱۰} چاپ کرد (Rabino, 1892, pp 1-56). در زمینه مطالعات سکه‌شناسی این دوره نیز، برای اولین بار رابینو دی بورگوماله به مطالعه درباره سکه‌های ایران از دوران صفوی به بعد پرداخت و نتایج کار خود را در سال ۱۹۴۵ م در کتابی با عنوان «سکه‌ها، مدال‌ها، و مهرهای شاهان ایران (۱۵۰۰-۱۹۴۱ م)»^{۱۱} منتشر کرد (Rabino

1. X-Ray Diffraction, XRD
2. X-Ray Fluorescence, XRF
3. Particle-Induced X-ray Emission, PIXE
4. Atomic Absorption Spectroscopy, AAS
5. Neutron Activation Analysis, NAA
6. External PIXE
7. micro-PIXE
8. PIXRF
9. Institute of Physics, Bhubaneswar, IOPB
10. Banking in Persia
11. Coins, Medals, and Seals of the Shahs of Iran, 1500-1941



di Borgomale, 1945). پس از آن، فرح‌بخش در سال ۱۳۵۴ ش کتابی ارزشمند را به نام «راهنمای سکه‌های ضربی (چکشی) ایران از سال ۹۰۰ تا ۱۲۹۶ ق/ ۱۵۰۰-۱۸۷۹ م» منتشر کرد (فرح‌بخش، ۱۳۵۴). دو کتاب معتبر عمومی نیز به نام‌های «فهرست‌واره سکه‌های اسلامی» (Album, 2011) و «کاتالوگ استاندارد سکه‌های جهانی، ۱۸۰۱-۱۹۰۰ م» (Michael, 2015)، اطلاعات مهمی را درباره سکه‌های ایرانی عصر ناصری در خود جای داده‌اند. در مطالعات ساختاری نظام پولی عصر ناصری نیز، بهترین کتاب را باید «تاریخ پولی ایران از صفویه تا قاجاریه» دانست که به سال ۲۰۱۳ م انتشار یافته است (مته و دیگران، ۱۳۹۶)؛ زیرا نگارندگان آن نحوه عملکرد ضرب‌خانه‌های محلی و سیاست‌های پولی را به خوبی بازسازی کرده‌اند. از نظر رویکردی مقاله «تجزیه عنصری سکه‌های پیروز ساسانی به روش پیکسی، مطالعه موردی: سکه‌های گنجینه پیروز گت کشف شده از روستای تیس چابهار» مشابه مقاله حاضر چاپ شده و تحلیل‌های آن به مانند این مقاله بر عناصر نقره، مس، و آهن استوار است و به عناصر سرب و طلا در تعیین نوع معادن سروزیت^۴ و گالنا^۵ نیز اشاره‌ای داشته است (کیان‌زادگان و دیگران، ۱۳۹۸).

۲. ناکارآمدی ساختاری نظام پولی

بر اساس تفکر جدید، نظام پولی میانه دوره قاجار، یعنی عصر ناصری بسیار عجیب و غیرمنطقی می‌آید. پول‌ها و واحدهای پولی این دوره از مکانی به مکان دیگر و از زمانی به زمان دیگر و همچنین از نظر نرخ تبدیل تفاوت‌های فراوانی داشت. راهکار ایرانیان برای سازگاری با این وضعیت این بود که دائماً به محاسبه و تبدیل انواع نفود و اقلام نرخ‌های محلی و استاندارد می‌پرداختند (مته و دیگران، ۱۳۹۶، ص ۲۸۱).

ابوت مشاهده کرد که بسیاری از شهرها پول رایج خود را دارند؛ گرچه خاطر نشان می‌کند که معیار معمول در تجارت، پول رایج رسمی بود. برای نمونه با توجه به نوشته او، یزد در سال‌های ۱۸۴۹-۱۸۵۰ م (۱۲۶۵-۱۲۶۶ ق) پول رایج خود را داشت که «از جاهای دیگر متفاوت بود؛ ۲۵ شاهی صاحب‌قران 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». به گفته او در کرمان «پول محل قران ۲۸ شاهی و ۳،۵ پنابادی^۶ است و ۲ شاهی کرمان یک سکه قران معیار است». یا درباره پول رایج اصفهان «۲۳ شاهی یک قران بود، اما در معاملات تجاری پول رایج متداول ایران مورد قبول است» (Abbott, 1983, pp 82, 85).

(104, 117).

1. Checklist of Islamic Coins
2. Standard Catalog of World Coins 1801-1900
3. The Monetary History of Iran: From the Safavids to the Qajars
4. Cerussite
5. Galena
۶. پناباد / panābād: سکه نقره به وزن نیم مثقال (نصف قران) که در زمان قاجار رواج داشته است. این سکه را رئیس ایل جوان شیر در پناه‌آباد (قلعه شوشی) ضرب کرده بود.



دست کم تا زمان راهاندازی ضربانخانه مدرن در سال ۱۲۹۴ ق بخشی از دلیل این تغییرات آن بود که ضربانخانه‌های محلی به سادگی با معیارهای رسمی در زمینه وزن و عیار کنار نمی‌آمدند. پیکن در همان عصر نمونه‌هایی از سکه‌های ضربانخانه‌های محلی را بررسی کرده است (جدول ۱) و رابینو خلاصه این بررسی را این گونه آورده است: «این شکل‌ها نشان‌دهنده نبود ترتیبی خاص در پول رایج ایرانی است. میان قران‌های همدان و تهران بیش از ۱۷٪ اختلاف ارزش وجود دارد. میان قران‌های دیگر شهرها و پایتخت از نظر پولی تفاوت بسیار قابل توجه است؛ گرچه کمتر از آن چیزی است که به طور افراطی نقل می‌شود» (Rabino, 1892, p37).

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

جدول ۱

نمونه وزن و عیار قران‌های نقره در
ضرابخانه‌های چند منطقه
(Rabino, 1892, p37)



اما حتی زمانی که ضرب‌خانه مدرن هم ضرب سکه‌هایی با وزن و عیار یکسان را آغاز کرد، نظام پولی منطقه‌ای به کار خود ادامه می‌داد. لندور که در سال ۱۹۰۱م (۱۳۱۹ق) در ایران مسافرت می‌کرد، دریافت که «هرگز نمی‌دانم که ارزش یک قران دقیقاً چقدر است و در هر ایالتی در مقابل قران‌هایم، شاهی‌های متفاوتی دریافت کردم» (Landor, 1902, vol. 1, p131). بردلی برت نیز در سال ۱۹۱۰م (۱۳۲۸ق) گلایه داشت که: «ناپایداری نرخ بانکی ایران بی‌شک برای هر کسی به جز یک بانکدار هم چون یک راز است. همه آنچه که می‌توانستم در این باره کشف کنم این بود که هرچه در ایران بیشتر می‌رفتم، [ارزش پول] به‌طور پیوسته پایین می‌آمد. در حالی که من در بوشهر برای هر ۱۵ روپیه ۵۱ قران دریافت کردم، وقتی به تهران رسیدم تنها ۴۷ قران گرفتم؛ در حالی که کمی پیشتر در آنجا به من گفته شد که نرخ روی مبلغ بالای ۶۰ قران ایستاده است» (Bradley Birt, 1909, pp 52-53).

۳. کلیاتی درباره قران‌های نقره ضرب دستی (۱۲۶۴-۱۲۹۶ ق)

سکه‌ها در دوره قاجار به صورت دستی ضرب می‌شدند. طبق نیاز اقتصادی هر شهر و ایالت ضرب‌خانه‌ای دایر بود و میزان تولید سکه‌ها بر حسب توان مالی رقم می‌خورد. ضرب‌خانه‌های عصر ناصری را می‌توان در سه گروه جای داد: ۱. فعال‌ترین ضرب‌خانه‌ها: مشهد، تبریز، تهران، اصفهان، شیراز؛ ۲. ضرب‌خانه‌های فعال: همدان، قزوین، استرآباد، طبرستان، کرمان، کاشان، رشت، یزد، کرمانشاهان؛ ۳. ضرب‌خانه‌های تشریفاتی: هرات، خوی، سرخس، سیستان (Album, 2011, pp 291-296; Michael, 2015, pp 794-804)، و شوشتر (فرح‌بخش، ۱۳۵۴، ص ۱۰۹). این ضرب‌خانه‌ها بر اساس موقعیت، سکه‌هایی از جنس طلا، نقره، و مس با واحدهای پولی و وزنی متفاوتی ضرب می‌کردند. البته چون هدف پژوهش حاضر قران‌های نقره است، در ادامه فقط به ذکر واحدهای پولی و وزنی سکه‌های نقره پرداخته می‌شود.

در اوایل دوران سلطنت محمدشاه (۱۲۵۱-۱۲۶۴ ق)، یعنی در سال ۱۲۵۴ ق اوزان قران‌های نقره از تومان (۱۰'۰۰۰ دینار) ۳۰۰ نخودی (۵۷/۶ گرم) به تومان ۲۸۰ نخودی (۵۳/۵۶ گرم) کاهش یافت و این نظام وزنی تا سال ۱۲۷۴ ق، یعنی اوایل سلطنت ناصرالدین‌شاه نیز ادامه یافت. در سال ۱۲۷۱ ق تصمیم بر آن شد تا دوباره از وزن سکه‌های نقره کاسته شود؛ بنابراین وزن این سکه‌ها از تومان ۲۸۰ نخودی به تومان ۲۶۰ نخودی (۴۹/۹۲ گرم) بدل شد (Album, 2011, pp 291-296) (جدول ۲). سرانجام در سال ۱۲۹۴ ق ضرب سکه به صورت ماشینی درآمد و ضرب سکه دستی متوقف شد؛ ولی بنابر اعتراضات ضرب دستی سکه با شرایطی در برخی از ضرب‌خانه‌ها ادامه یافت که نهایت در سال ۱۲۹۶ ق به‌طور کامل برچیده شد (مته و دیگران، ۱۳۹۶، صص ۲۷۲-۲۷۳).



جدول ۲

واحد‌های پولی و اوزان سکه‌های ضرب
دستی نقره عصر ناصری (Album,
2011, pp 291-296; Michael, 2015,
pp 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 قرانی/۱۰۰۰ دینار | رایج | ۵/۳۷ گرم | ۴/۹۹ گرم | |
| ۲ قرانی/۲۰۰۰ دینار | غیررایج | --- | ۹/۹۸ گرم | فقط تبریز، ۱۲۹۴ ق |
| ۵ قرانی/۵۰۰۰ دینار | غیررایج | ۲۶/۸۸ گرم | --- | فقط تهران، ۱۲۶۷ ق |

۴. معرفی سکه‌های آزمایش شده

طرح قران‌های ناصرالدین‌شاهی ضرب شده در استرآباد (شکل ۱)، شبیه سایر سکه‌های این عصر در ضراب‌خانه‌های دیگر است. به صورت معمول بر روی این سکه‌ها عبارت «السلطان ابن السلطان ناصرالدین شاه قاجار» نگاشته شده است و پشت این سکه‌ها نیز عبارت «ضرب دارالمؤمنین استرآباد» به همراه تاریخ ضرب سکه نقر شده است (فرح‌بخش، ۱۳۵۴، صص ۱۰۸-۱۰۹).



شکل ۱

برخی از سکه‌های آزمایش شده؛ ن
مونه‌های ۱۹۰۶، ۱۹۰۹، و ۲۱ (نگارندگان)



سکه‌های آزمایش شده در این پژوهش از مجموعه شخصی سیدحسن سادات رضوی امانت گرفته شده‌است. سکه‌های ناصرالدین شاهی استرآباد، میان سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۶۷، ۱۲۶۹-۱۲۷۳، ۱۲۷۶-۱۲۸۴، ۱۲۸۷، ۱۲۸۹-۱۲۹۲ ق ضرب شده‌است (Album, 2011, pp) و در مجموع از نظر تاریخ ضرب ۲۲ سکه متفاوت را دربر می‌گیرد. از هر تاریخ ضرب، یک سکه برای آزمایش در نظر گرفته شد و در کل بر روی ۲۲ سکه آزمایش پیکسی انجام شد. مشخصات کامل سکه‌های انتخابی به ترتیب تاریخ‌های ضرب، در جدول ۳ آمده‌است.

| شماره نمونه | تاریخ ضرب | وزن سکه | شماره نمونه | تاریخ ضرب | وزن سکه |
|-------------|-----------|----------|-------------|-----------|----------|
| ۱ | ۱۲۶۵ ق | ۵/۲۹ گرم | ۱۲ | ۱۲۷۹ ق | ۴/۸۹ گرم |
| ۲ | ۱۲۶۶ ق | ۵/۲۸ گرم | ۱۳ | ۱۲۸۰ ق | ۴/۹۰ گرم |
| ۳ | ۱۲۶۷ ق | ۵/۳۹ گرم | ۱۴ | ۱۲۸۱ ق | ۴/۹۳ گرم |
| ۴ | ۱۲۶۹ ق | ۵/۳۱ گرم | ۱۵ | ۱۲۸۲ ق | ۴/۸۲ گرم |
| ۵ | ۱۲۷۰ ق | ۵/۱۱ گرم | ۱۶ | ۱۲۸۳ ق | ۴/۸۶ گرم |
| ۶ | ۱۲۷۱ ق | ۵/۲۵ گرم | ۱۷ | ۱۲۸۴ ق | ۴/۹۱ گرم |
| ۷ | ۱۲۷۲ ق | ۵/۲۳ گرم | ۱۸ | ۱۲۸۷ ق | ۴/۸۳ گرم |
| ۸ | ۱۲۷۳ ق | ۴/۹۸ گرم | ۱۹ | ۱۲۸۹ ق | ۴/۸۱ گرم |
| ۹ | ۱۲۷۶ ق | ۴/۸۸ گرم | ۲۰ | ۱۲۹۰ ق | ۴/۹۱ گرم |
| ۱۰ | ۱۲۷۷ ق | ۴/۹۲ گرم | ۲۱ | ۱۲۹۱ ق | ۴/۹۵ گرم |
| ۱۱ | ۱۲۷۸ ق | ۴/۹۵ گرم | ۲۲ | ۱۲۹۲ ق | ۴/۹۹ گرم |

جدول ۳

مشخصات سکه‌های آزمایش شده
(نگارندگان)

۵. روش آزمایش پیکسی

آماده کردن نمونه‌ها یکی از مشکلات اساسی در آزمایش پیکسی است. برای تجزیه عنصری بهتر و دقیق تر نمونه‌ها، در بسیاری از مواقع ترجیح داده می‌شود تا از نمونه‌های نازکی استفاده شود که از نمونه‌های ضخیم به دست می‌آید. اگر به دست آوردن نمونه نازک از نمونه ضخیم مشکل و در عمل غیرممکن باشد، نمونه ضخیم خود مستقیم تحت تابش



باریکه پروتون قرار می‌گیرد (Johansson & Johansson, 1976, pp 473-516). در اینجا نیز تهیه نمونه نازک از سکه‌ها به دلیل تخریب نمونه، امکان‌پذیر نبود؛ بنابراین باریکه پروتون مستقیم بر سکه‌ها تابانده شد.

وقتی تجزیه عنصری روی مقادیر نسبی عناصر (از نظر وزن) انجام می‌شود، روشن است که باید به مقدار آلودگی نمونه‌ها توجه شود. به دلیل نگرانی از یونیزاسیون سطح سکه‌های نقره (با آلیاژی از مس)، به دلیل پاک‌سازی غیراصولی (Beck et al., 2004, pp 153-162)، سکه‌های این پژوهش آلودگی سطحی نداشتند و صرفاً با آب مقطر شست‌وشو شدند. با اینکه مقدار برخی از عناصر بسیار ناچیز است، ولی اگر در گذاشت و برداشت نمونه توجه زیادی اعمال نشود، آلودگی‌هایی هرچند کم مقدار نیز ممکن است به سادگی به هدف برسند؛ بنابراین باید در انتقال نمونه‌ها دقت داشت و آن را به حداقل رساند و حتی می‌توان نمونه‌ها را قبل از قراردادن در محفظه، در صورت امکان با مواد تمیزکننده، از قبیل الکل و... تمیز کرد (کیان‌زادگان، ۱۳۹۷، ص ۵).

نکات گوناگونی در آزمایش پیکسی در نظر گرفته می‌شود تا میزان خلوص مطلق اجزای اصلی و عناصر کم‌مقدار نمونه‌ها به خوبی تعیین شود (Ishii & Morita, 1988, pp 209-216). با توجه به مطالعات انجام‌شده، بهترین حالت تعیین مقدار عناصر، بر استفاده از انرژی MeV^2 بر پروتون با توجه به ماتریس عنصر اصلی نمونه مورد آزمایش، استوار است (Roumié et al., 2005, pp 584-590)؛ از این رو در این پژوهش از شتاب‌دهنده متناوب پلترون $7,31 MV^4$ مؤسسه فیزیک بویانسور استفاده شد.

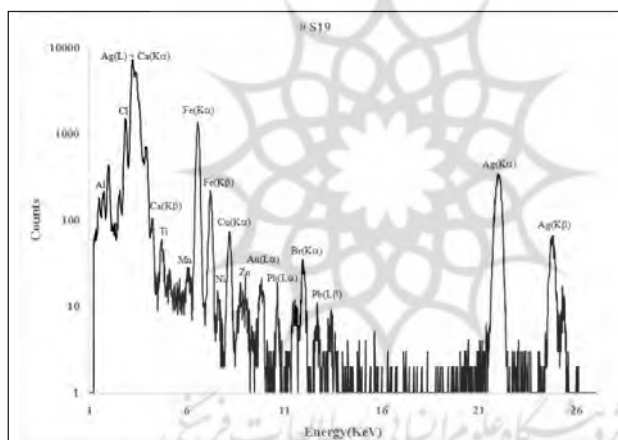
قدم بعدی قراردادن نمونه‌ها در محفظه آزمایش در قسمت نگه‌دارنده چرخشی نمونه هدف بود که با کامپیوتر و از طریق موتور پله‌ای قابل کنترل بود. محفظه نمونه‌ها دارای چندین درگاه برای عملکردهای متفاوت است که دو عملکرد مهم آن برای «تجزیه عنصری پیکسی» و «طیف‌سنجی بازتابی رادرفورد»^۶ است (Ben Abdelouahed et al., 2010, pp 59-64). پس از قرارگرفتن نمونه‌ها در محفظه آزمایش، برای جلوگیری از افت انرژی پروتون و تضعیف پرتوی ایکس گسیلی از نمونه هدف، هوای محفظه آزمایش باید تخلیه شود و خلائی در حدود 10^{-7} Torr ایجاد شود که معمولاً این عمل با استفاده از پمپ‌های چرخشی و دیفیوژنی^۸ انجام می‌شود (Gaschen et al., 2008, pp 535-552).

سپس باریکه‌ای از انرژی (در اینجا $3 MeV$ بر پروتون) از داخل محفظه و اکنش عبور می‌کند و نمونه هدف در مقابل باریکه قرار می‌گیرد. باریکه پس از برخورد به نمونه هدف در صورتی که نمونه نازک باشد، از آن عبور می‌کند و داخل فنجان فارادی^۹ که به جمع‌کننده بار متصل است متوقف می‌شود (اولیایی و دیگران، ۱۳۹۴، ص ۲۱). در درجه تعبیه‌شده در محفظه قرارگیری

1. Ionization
2. Mega Electron Volt
3. Tandem Pelletron Accelerator
4. Mega Volt
5. Stepper Motor
6. Rutherford Back-Scattering Spectrometry, RBS
7. تور یکی از یکاهای غیر SI برای اندازه‌گیری فشار است. ۱ اتمسفر استاندارد برابر ۷۶۰ تور است. این یکا به گونه‌ای گزینش شده‌است که با تقریب خوبی برابر با فشار حاصل از یک میلی‌متر جیوه باشد؛ بنابراین فشار ۱ تور تقریباً برابر با فشار حاصل از یک میلی‌متر جیوه است. این یکا به یاد اوانجلیستا تورچلی (Evangelista Torricelli)، فیزیک‌دان و ریاضی‌دان ایتالیایی-که اصول عملکرد فشارسنج را در ۱۶۴۴م کشف کرد- نام‌گذاری شده‌است.
8. Diffusion Pump
9. Faraday Cup



نمونه هدف و در راستای زاویه 135° مسیر پرتو، آشکارساز (ORTEC Si (Li) جمع کننده پرتوهای موازی (170 eV FWHM در 5.9 keV) با 30 mm پهنه فعال و $12.7 \mu\text{m}^2$ ضخامت پنجره Be، برای شناسایی پرتوهای ایکس انتشار یافته از نمونه های مورد آزمایش، قرار گرفته است که امکان شناسایی عناصر سبک و سنگین را هم زمان فراهم می آورد (Ben Ab-delouahed et al., 2010, pp 59-64). برای دقت بیشتر در این امر پیشنهاد می شود که فیلتری آلومینیومی در مقابل پنجره آشکارساز قرار داده شود (Roumié et al., 2006, pp 612-615). مشخصه بار پرتو در نمونه، به وسیله تقویت کننده یکپارچه بار و با اتصال به شمارنده ای دیجیتال اندازه گیری می شود. در اینجا برای جلوگیری از اختلال در عملکرد آشکارساز بهتر است جریان پرتو را پایین تر از 3 nA نگه داشت. سیگنال های آشکارساز تشکیل و تقویت می شود و سرانجام از طریق تحلیل ارتفاع پالس، طیف انرژی در تحلیلگری چند کاناله ذخیره می شود و نمایش داده می شود (Ben Abdelouahed et al., 2010, pp 59-64) (شکل ۲).



شکل ۲

نمونه ای از طیف های ایکسی، نمونه شماره ۱۹ (نگارندگان)

۶. یافته ها و نتایج

برای پردازش طیف های به دست آمده و تبیین مقدار خلوص عناصر سکه ها از نرم افزار گویکس^۶ استفاده می شود (Maxwell et al., 1995, pp 407-421). این نرم افزار برای تحلیل، از دست رفتن انرژی 3 MeV بر پروتون، تغییر سطح مقطع تولید پرتوی ایکس با کاهش انرژی پروتون، جذب پرتوی ایکس از اعماق مختلف و تأثیر عنصری آن (تقویت اثر پرتوی ایکس) را مدنظر قرار می دهد. این نرم افزار از تمام مشخصات پرتوهای ایکس وارد شده در آشکارساز Si (Li) با هدف تولید منحنی نظری استفاده می کند؛ هم چنین قله کمینه، قله بیشینه، و توالی کم انرژی پرتوهای ایکس را محاسبه می کند (Ben Abdelouahed et al., 2010, pp 59-64).

1. Electron Volt
2. Kilo Electron Volt
3. Square Milli Metre
4. Micro Metre
5. Nano Ampere
6. GUPIX

برای محاسبه مقدار خلوص عناصر در سکه‌ها، هر طیف از نظر کیفی مشخص می‌شود تا جریان‌های مختلف پرتوی ایکس عناصر موجود در طیف و بار کلی Q_p را که بر پروتون‌های حمل شده است به گوییکس معرفی کند ($Q_p = 1.6 \cdot 21 \cdot 10^{-13} N_p \mu^c$). سپس داده‌های ورودی در برنامه‌ای با هدف تولید طیف نظری با تمام عناصر قابل مشاهده، استفاده می‌شوند. محاسبه نظری شدت جریان تابش پرتوی ایکس ($I_t(Z)$) مبتنی بر فرض نمونه همگن و مسطح است. با توجه به روش این آزمایش، باریکه پروتون به صورت مکرر در زاویه Φ برابر 45° با سطح سکه در معرض جریان ذرات قرار می‌گیرد و آشکارساز پرتوی ایکس با زاویه θ برابر با 135° در جهت باریکه پروتون قرار می‌گیرد و زاویه سه‌بعدی کوچکی را می‌سازد. محاسبه نظری شدت جریان تابش پرتوی ایکس از عنصر Z موجود با میزان خلوص C_Z ، با ضخامت حجمی $d\delta$ در عمق δ پشت سطح سکه، به دلیل تعدادی از پروتون‌های N_p ، به خوبی توسط انتگرال ضخامت روی سکه، محاسبه و تشریح می‌شود:

$$I_t(Z) = N_p \frac{C_Z N_{av}}{A_Z} \omega_Z \frac{\tau_Z}{\tau} \varepsilon_Z f_Z \int \sigma_Z(\delta, E_p) e^{-\mu_Z \delta / tg \varphi} d\delta$$

این فرمول کاهش انرژی باریکه پروتون E_p وارد شده به نمونه و تضعیف پرتوهای تابشی ایکس عناصر رادرجهت آشکارساز محاسبه می‌کند (Ben Abdelouahed et al., 2010, pp 59-64). در فرمول بالا $\sigma_Z(\delta, E_p)$ با بخش مقطع یونیزاسیون ارتباط دارد ولی با عمق δ متفاوت است و به دلیل ازدست‌دادن انرژی dE_p از باریکه‌های پروتون به دست آمده است. در اینجا ω_Z عملکرد فلورسنس، τ_Z/τ کسری از کل انتشار پرتوی ایکس از خط تجزیه شده، A_Z جرم اتمی عنصر در نظر گرفته شده، N_{av} عدد آووگادرو، μ_Z ضریب جذب پرتوی ایکس تابشی، ε_Z بازده آشکارساز، و f_Z مربوط به کسری از تضعیف حاصل از فیلتر آلومینیومی است که در جلوی آشکارساز قرار گرفته است (Ben Abdelouahed et al., 2009, pp 37-44).

برای دقیق‌تر شدن تجزیه و تحلیل داده‌های طیفی، باید گوییکس را با نتایج تجزیه دو سکه معاصر، یعنی قسمت داخلی سکه‌های یورو کالیبره^۲ کرد؛ چرا که در قسمت‌های داخلی سکه‌های یک‌یورویی (۷۵٪ مس و ۲۵٪ نیکل) و دویورویی (۷۵٪ مس، ۲۰٪ روی، و ۵٪ نیکل) مقادیر خلوص عناصر به خوبی تعریف شده است و می‌تواند به عنوان استاندارد مرجع استفاده شود. مرحله کالیبراسیون برای به دست آوردن ضریب کالیبراسیون، معروف به مقدار H انجام می‌شود (Denker et al., 2005, pp 376-380) که به شدت محاسبه شده (از پایگاه داده گوییکس) $I_t(Z)$ از خط پرتوی ایکس تابشی

1. Avogadro constant

2. Calibration

عنصر Z محاسبه شده با $I_m(Z)$ ، یعنی به فرمول $I_m(z) = H I(Z)$ مربوط می شود (Shariff et al., 2002, pp 131-137). آخرین مرحله تعریف روش آزمایش برای گویکس به دلیل متناسب ساختن طیف اولیه آزمایش است تا مقادیر عناصر تشکیل دهنده نمونه در رایانه آشکار شود.

نتایج تجزیه عنصری ۲۲ سکه آزمایش شده، در جدول ۴ آمده است:

| شماره | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| تاریخ | ۱۳۶۵ | ۱۳۶۶ | ۱۳۶۷ | ۱۳۶۹ | ۱۳۷۰ | ۱۳۷۱ | ۱۳۷۲ | ۱۳۷۳ | ۱۳۷۶ | ۱۳۷۷ | ۱۳۷۸ | ۱۳۷۹ | ۱۳۸۰ |
| Al | | | | ۰/۰۹ | | | | ۰/۰۸ | ۰/۱۱ | | | | |
| Si | | | ۰/۱۱ | | | | ۰/۱۵ | | | ۰/۱۴ | | | ۰/۱۷ |
| S | ۰/۱۷ | | | | | ۰/۱۵ | ۰/۱۷ | ۰/۲۱ | | ۰/۱۸ | ۰/۱۹ | | |
| Cl | | ۰/۲۰ | | ۰/۲۷ | ۰/۲۲ | ۰/۱۷ | | | ۰/۲۳ | | | ۰/۱۸ | |
| Ca | | ۰/۲۳ | | ۰/۲۱ | ۰/۲۷ | ۰/۲۱ | | | ۰/۲۵ | | | ۰/۲۱ | |
| Ti | ۰/۰۹ | | ۰/۱۱ | ۰/۰۸ | | | | | ۰/۱۲ | | | | ۰/۱۵ |
| Mn | | | | | ۰/۱۸ | | ۰/۱۹ | | ۰/۱۴ | | | | |
| Fe | ۳/۷۲ | ۳/۶۷ | ۳/۴۸ | ۳/۵۵ | ۳/۶۹ | ۳/۶۶ | ۳/۵۸ | ۳/۷۴ | ۴/۷۸ | ۴/۷۲ | ۴/۷۸ | ۴/۸۳ | ۴/۶۸ |
| Ni | | ۰/۲۱ | ۰/۱۷ | | | ۰/۱۴ | ۰/۲۶ | ۰/۲۴ | | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۷ | |
| Cu | ۴/۲۹ | ۳/۷۹ | ۴/۴۴ | ۳/۵۷ | ۴/۰۵ | ۴/۰۲ | ۳/۶۲ | ۴/۸۴ | ۴/۲۴ | ۴/۴۰ | ۴/۱۹ | ۴/۲۷ | ۴/۸۳ |
| Zn | ۰/۱۹ | ۰/۱۷ | | ۰/۱۴ | | | | ۰/۲۶ | | ۰/۲۱ | | ۰/۲۳ | ۰/۱۸ |
| Br | | ۰/۲۱ | | | | | ۰/۱۹ | | ۰/۲۵ | ۰/۳۱ | | | |
| Ag | ۹۰/۱۱ | ۹۰/۱۷ | ۹۰/۰۳ | ۹۰/۱۵ | ۹۰/۱۱ | ۹۰/۰۹ | ۹۰/۱۴ | ۹۰/۰۵ | ۸۶/۵۵ | ۸۶/۶۲ | ۸۶/۵۹ | ۸۶/۵۱ | ۸۶/۶۱ |
| Au | ۰/۸۱ | ۰/۶۴ | ۰/۷۵ | ۰/۸۱ | ۰/۵۳ | ۰/۷۹ | ۰/۸۶ | ۰/۶۴ | ۰/۵۲ | ۰/۶۹ | ۰/۷۵ | ۰/۸۱ | ۰/۴۶ |
| Hg | | | ۰/۲۲ | ۰/۱۷ | | | | | ۰/۱۲ | | ۰/۱۹ | | |
| Pb | ۰/۶۲ | ۰/۷۱ | ۰/۶۹ | ۰/۵۰ | ۰/۹۵ | ۰/۷۷ | ۰/۸۳ | ۰/۹۴ | ۰/۷۸ | ۰/۶۵ | ۰/۷۱ | ۰/۷۹ | ۰/۹۲ |

جدول ۴

نتایج تجزیه عنصری
سکه های بررسی شده به روش پیکسی
(نگارندگان)



| شماره | تاریخ | Al | Si | S | Cl | Ca | Ti | Mn | Fe | Ni | Cu | Zn | Br | Ag | Au | Hg | Pb |
|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| ۱۴ | ۱۲۸۱ | | ۰/۱۳ | ۰/۱۲ | | | | | ۴/۸۴ | ۰/۳۹ | ۶/۸۰ | ۰/۱۹ | | ۸۶/۶۹ | ۰/۵۶ | ۰/۱۷ | ۰/۹۱ |
| ۱۵ | ۱۲۸۲ | | | | | | | ۰/۸۹ | ۴/۷۰ | | ۷/۰۷ | | | ۸۶/۵۸ | ۰/۳۹ | | ۰/۶۷ |
| ۱۶ | ۱۲۸۳ | ۰/۱۷ | | | | | | ۰/۱۶ | ۴/۷۸ | | ۶/۸۰ | | | ۸۶/۵۴ | ۰/۶۶ | | ۰/۸۹ |
| ۱۷ | ۱۲۸۴ | | | | ۰/۲۲ | ۰/۲۴ | | | ۴/۸۳ | ۰/۱۶ | ۶/۳۲ | | | ۸۶/۴۶ | ۰/۶۹ | ۰/۱۵ | ۰/۹۳ |
| ۱۸ | ۱۲۸۷ | | ۰/۱۱ | | | | ۰/۰۸ | | ۴/۸۹ | | ۶/۳۳ | | | ۸۶/۵۳ | ۰/۸۴ | | ۰/۸۲ |
| ۱۹ | ۱۲۸۹ | ۰/۰۸ | | | ۰/۱۹ | ۰/۲۱ | ۰/۰۹ | ۰/۱۷ | ۵/۹۸ | ۰/۱۵ | ۶/۸۴ | ۰/۲۲ | ۰/۳۳ | ۸۶/۲۲ | ۰/۵۱ | ۰/۱۶ | ۰/۸۵ |
| ۲۰ | ۱۲۹۰ | | | ۰/۱۳ | | | | | ۶/۲۳ | ۰/۱۱ | ۷/۸۵ | | | ۸۶/۱۹ | ۰/۳۳ | ۰/۸۸ | ۰/۶۸ |
| ۲۱ | ۱۲۹۱ | | ۰/۱۶ | | | | | ۰/۱۵ | ۶/۴۱ | | ۷/۳۲ | ۰/۱۳ | | ۸۶/۲۵ | ۰/۶۸ | | ۰/۹۰ |
| ۲۲ | ۱۲۹۲ | | | | ۰/۱۶ | ۰/۲۰ | ۰/۰۸ | | ۶/۱۷ | | ۷/۴۹ | | ۰/۱۸ | ۸۶/۱۷ | ۰/۸۲ | | ۰/۸۱ |

ادامه جدول ۴

نتایج تجزیه عنصری
سکه‌های بررسی شده به روش
بیکیسی (نگارندگان)

۷. بحث و تحلیل روی یافته‌های پژوهش

بیشترین مقدار عنصری را پس از نقره (Ag)، عناصر مس (Cu)، آهن (Fe)، سرب (Pb)، و طلا (Au) دارند و جزئی از تمام سکه‌ها بوده‌اند؛ بنابراین این عناصر پرتکرار را عناصر اصلی تشکیل دهنده فلز سکه‌ها باید دانست. ولی هر کدام از این عناصر چگونه تحلیل می‌شود؟ ابتدا برای پاسخ به این پرسش باید پایین‌ترین و بالاترین حد مقدار هر عنصر مشخص شود (جدول ۵).

| * | نقره | مس | آهن | سرب | طلا |
|------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| پایین‌ترین | ۸۴/۱۷٪ | ۳/۵۷٪ | ۳/۴۸٪ | ۰/۶۲٪ | ۰/۴۶٪ |
| بالاترین | ۹۰/۱۷٪ | ۷/۷۵٪ | ۶/۴۱٪ | ۰/۹۵٪ | ۰/۸۶٪ |

جدول ۵

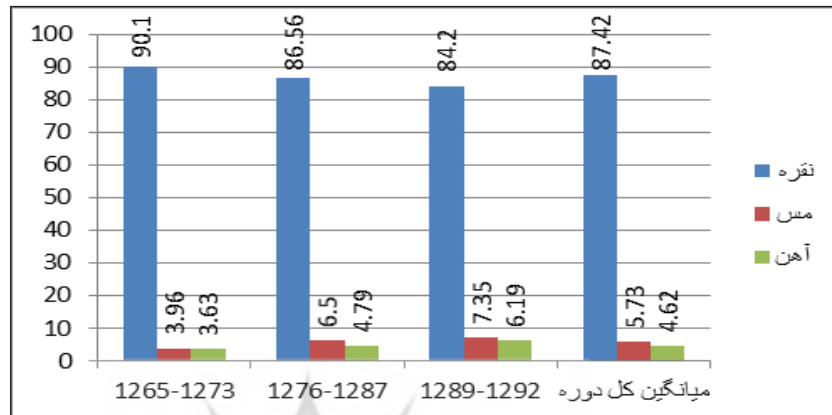
میزان حد پایین‌ترین و بالاترین مقدار عناصر اصلی فلز سکه‌های مورد مطالعه (نگارندگان)

مقدار خلوص نقره این سکه‌ها بین ۸۴/۱۷٪ تا ۹۰/۱۷٪ است که ۶٪ اختلاف بین بالاترین و پایین‌ترین حد خلوص نقره را نشان می‌دهد؛ ولی این اختلاف مقدار چگونه پدید آمده است؟ با توجه به جدول ۴ و ستون درصد خلوص نقره، می‌توان تغییرات خلوص نقره را در طی کل دوران ضرب این سکه‌ها مشاهده کرد؛ بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۷۳ ق میانگین خلوص نقره ۹۰/۱۰٪ است، ولی بین سال‌های ۱۲۷۶-۱۲۸۷ ق میانگین خلوص نقره ۸۶/۵۶٪ و بین سال‌های ۱۲۸۹-۱۲۹۲ ق میانگین خلوص نقره ۸۴/۲۰٪ است که افول کیفیت و افت ارزش قران‌های ضرب استرآباد را نشان می‌دهد.

فلز مس به صورت طبیعی با مقادیری کمتر از ۲٪ در فلز سکه‌ها وجود دارد؛ ولی اگر این مقدار بیشتر از این باشد، نمی‌توان آن را طبیعی قلمداد کرد و حتماً آمیختگی اختیاری انجام شده است (Hughes & Hall, 1979, pp 321-344). سکه‌های پژوهش حاضر ۳/۵۷ درصد تا ۷/۷۵٪ مس دارد و ۴/۱۸٪ بین بالاترین و پایین‌ترین حد خلوص مس اختلاف مشاهده می‌شود. با توجه به جدول ۴ و ستون درصد خلوص مس، تغییرات خلوص مس عبارت‌اند از: بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۷۳ ق با میانگین ۳/۹۶٪، بین سال‌های ۱۲۷۶-۱۲۸۷ ق با میانگین ۶/۵۰٪، و بین سال‌های ۱۲۸۹-۱۲۹۲ ق با میانگین ۷/۳۵٪ که این می‌تواند نشان‌دهنده آمیختگی اختیاری این فلز برای پایین آوردن مقدار خلوص نقره باشد. هم‌چنین عنصر آهن به‌طور معمول به دلیل آلودگی سطحی ناشی از محیط دفن شدن سکه‌ها در سکه‌ها وجود دارد (Flament & Marchetti, 2004, pp 179-184). سکه‌های این پژوهش از دل خاک پیدا نشده‌اند ولی میزان زیادی از آهن را در خود جای داده‌اند؛ از ۳/۴۸٪ تا ۶/۴۱٪ یعنی ۲/۹۳٪ بین بالاترین و پایین‌ترین حد خلوص آهن اختلاف مشاهده می‌شود. با توجه به جدول ۴ و ستون درصد خلوص آهن، می‌توان تغییرات خلوص آهن



را بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۷۳ق با میانگین ۳/۶۳٪، بین سال‌های ۱۲۷۶-۱۲۸۷ق با میانگین ۴/۷۹٪، و بین سال‌های ۱۲۸۹-۱۲۹۲ق با میانگین ۶/۱۹٪، در نظر گرفت که این نشانه‌ای از آلیاژ کردن آهن برای تنظیم عیار فلز سکه‌ها است.



شکل ۳

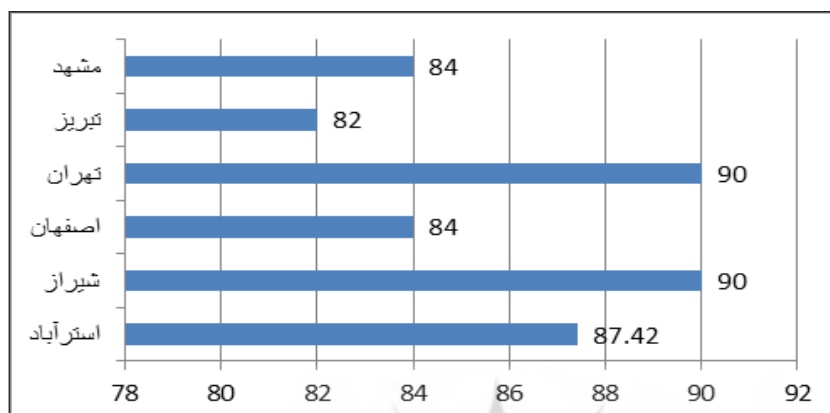
مؤدار تغییرات مقدار خلوص نقره، مس، و آهن بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۹۲ق

در حال حاضر حدود نصف نقره موجود در جهان از معادن سرب استخراج می‌شود (Hughes & Hall, 1979, pp 321-344)؛ بنابراین اگر سرب با مقادیر کمی (۱٪ و کمتر از آن) در سکه‌های نقره مشاهده شود، جای شگفتی نیست؛ ولی این مقدار سرب در فرآیند استحصال نقره جدا می‌شود و اگر چنین نباشد، می‌تواند نشانه تعجیل و نبود دقت کافی در استحصال فلز نقره باشد (Flament & Marchetti, 2004, pp 179-184). سکه‌های مورد پژوهش در مقاله حاضر نیز به‌طور میانگین ۰/۸۱٪ سرب را در خود جای داده‌اند که استخراج نقره از معادن سرب، و تعجیل و نبود دقت کافی در استحصال نقره را نشان می‌دهد.

معادن سربی که از آن‌ها نقره نیز استخراج می‌شود در دو گروه سروزیتو گالنا قرار می‌گیرند. اگر نقره استفاده شده در سکه‌ها از معادن سروزیت به‌دست آمده باشد، مقدار طلای موجود در آن به‌طور تقریب بین ۰/۲٪ تا ۱/۵٪ متغیر است و اما اگر نقره از معادن گالنا استخراج شده باشد، مقدار طلای موجود در آن کمتر از ۰/۲٪ است (Meyers, 2003, p271). میانگین طلا در ساختار سکه‌های مورد پژوهش ۰/۶۸٪ است که می‌تواند نشانه استخراج نقره از معادن سروزیت باشد.

باتوجه به جدول ۱، رابینو مقدار خلوص نقره سکه‌های ضرب‌خانه‌های اصلی، یعنی مشهد را ۸۴٪، تبریز را ۸۲٪، تهران را ۹۰٪، اصفهان را ۸۴٪، و شیراز را ۹۰٪ به‌دست آورده است (Rabino, 1892, p37). در پژوهش حاضر با آزمایش قران‌های آستراباد در تمام تاریخ‌های ضرب، روند تغییرات میزان خلوص نقره در بازه زمانی بین سال‌های

۱۲۶۵-۱۲۷۳ اق با میانگین ۹۰/۱٪، بین سال‌های ۱۲۷۶-۱۲۸۷ اق با میانگین ۸۶/۵۶٪ و بین سال‌های ۱۲۸۹-۱۲۹۲ اق با میانگین ۸۴/۲٪ تبیین شد و میانگین خلوص نقره‌سکه‌های ضرب‌شده در کل دوره ۸۷/۴۲٪ محاسبه شد (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل ۴

میزان خلوص نقره‌سکه‌های ضرب‌خانه‌ی استرآباد در مقایسه با ضرب‌خانه‌های اصلی (نگارندگان)

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج آزمایش پیکسی، عنصر نقره به‌همراه عناصر مس و آهن فلزات اصلی سکه‌های نقره‌شهر استرآباد در عصر ناصری هستند که میانگین خلوص آن‌ها در سه دوره تغییرات عمده‌ای داشته‌است:

۱۲۶۵-۱۲۷۳ اق: نقره ۹۰/۱۰٪، مس ۳/۹۶٪، آهن ۳/۶۳٪؛

۱۲۷۶-۱۲۸۷ اق: نقره ۸۶/۵۶٪، مس ۶/۵۰٪، آهن ۴/۷۹٪؛

۱۲۸۹-۱۲۹۲ اق: نقره ۸۴/۲۰٪، مس ۷/۳۵٪، آهن ۶/۱۹٪؛

میانگین کل دوره: نقره ۸۷/۴۲٪، مس ۵/۷۳٪، آهن ۴/۶۲٪.

هرچند که مقدار خلوص نقره‌سکه‌های ضرب استرآباد در سه دوره کاهش یافته‌است، ولی عیار نقره‌سکه‌های استرآباد در کل دوران ضرب با میانگین ۸۷/۴۲٪ در مقایسه با ضرب‌خانه‌های اصلی، یعنی مشهد با میانگین ۸۴٪، تبریز با میانگین ۸۲٪، تهران با میانگین ۹۰٪، اصفهان با میانگین ۸۴٪ و شیراز با میانگین ۹۰٪، نسبتاً خوب و بالا بوده‌است؛ که این به‌صورت عمومی نشان‌دهنده رونق و قدرت اقتصادی شهر استرآباد در عصر ناصری است.

عنصر مس به‌صورت طبیعی با مقداری کمتر از ۲٪ در فلز سکه‌ها وجود دارد؛ ولی اگر این مقدار بیشتر از این باشد، نمی‌توان آن را طبیعی قلمداد کرد و حتماً آمیختگی اختیاری انجام شده است. سکه‌های این پژوهش دارای مقدار میانگین ۵/۷۳٪ مس است



که آمیختگی اختیاری برای عیارکردن فلز سکه را نشان می‌دهد. وجود عنصر آهن نیز هرچند به دلیل آلودگی سطحی ناشی از محیط دفن سکه‌هاست، ولی سکه‌های این پژوهش، سکه‌های پیداشده از دل خاک نیستند و مقدار بیشتری از آهن را در خود جای داده‌اند. این سکه‌ها از مقدار میانگین $4/62\%$ آهن برخوردارند که این نشانه‌ای از عیارکردن آهن برای تنظیم عیار فلز سکه‌هاست.

علاوه بر این وجود عنصر سرب با میانگین $0/81\%$ در سکه‌ها نشانگر استفاده از معادن سرب برای استخراج فلز نقره، و تعجیل و نبود دقت کافی در استحصال آن بوده است. معادن سرب به دو گونه سروزیت و گالنا تقسیم می‌شوند که معادن سروزیت بین $0/2\%$ تا $1/5\%$ و معادن گالنا کمتر از $0/2\%$ عنصر طلا را در خود جای داده‌اند. میانگین $0/68\%$ طلا در ساختار سکه‌ها می‌تواند نشانه استخراج نقره از معادن سروزیت باشد.

منابع

کتاب

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

فرح‌بخش، هوشنگ. (۱۳۵۴). *راهنمای سکه‌های ضربی (چکششی) ایران ...*. تهران: فرح‌بخش-مته، رودی؛ فلور، ویلم؛ کلاوسون، پاتریک. (۱۳۹۶). *تاریخ پولی ایران: از صفویه تا قاجاریه*. (جواد عباسی، مترجم). تهران: نامک.

مقاله

اولیایی، پروین؛ آفریده، حسین؛ آقاعلی‌گل، داوود. (۱۳۹۴). «مطالعه آماری سکه‌های نقره هخامنشی، اشکانی و ساسانی با استفاده از آنالیز عنصری به روش پیکسی». *مطالعات باستان‌شناسی*، ۷(۱)، صص ۱۷-۲۸. خادمی ندوشن، فرهنگ؛ محقق، مریم؛ هژبری نوبری، علی‌رضا؛ مسجدی خاک، پرستو. (۱۳۹۴). «بررسی اوضاع سیاسی-اقتصادی حکومت اشکانیان در سال‌های ۵۷-۲ ق.م (دوران پادشاهی ارد دوم و فرهاد چهارم) براساس ترکیبات شیمیایی سکه‌های نقره با روش آزمایشگاهی PIXE». *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، ۵(۸)، صص ۵۳-۶۶.

کیان‌زادگان، سوسن؛ رجائی، سیدجلال؛ مسجدی خاک، پرستو؛ سعادت‌مهر، محمدمبین. (۱۳۹۸). «تجزیه عنصری سکه‌های پیروز ساسانی به روش پیکسی (PIXE)، مطالعه موردی: سکه‌های گنجینه پیروزگت کشف‌شده از روستای تیس چابهار». *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، ۹(۲۲)، صص ۱۸۱-۱۹۶.



لامعی رشتی، محمد. (۱۳۸۲). «نقش تحلیل عنصری در باستان‌سنجی: تجزیه آزمایشگاه واندوگراف». چاپ‌شده در کتاب *مجموعه مقالات نخستین همایش باستان‌سنجی در ایران: نقش علوم پایه در باستان‌شناسی*. (مسعود آذرنوش، کوشش‌گر). تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور (پژوهشکده باستان‌شناسی). صص ۷۵-۹۲.

پایان‌نامه

اسماعیل‌زاده کیوی، سینا. (۱۳۹۲). «مطالعه اشپای مکشوفه از بافت تاریخی اردبیل و محوطه تاریخی مجموعه شیخ‌صافی‌الدین اردبیلی با روش گسیل پرتو ایکس با تابش پروتون (PIXE)». پایان‌نامه کارشناسی ارشد، اردبیل: دانشکده علوم دانشگاه محقق اردبیلی (منتشر نشده).
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، مشهد: دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد (منتشر نشده).

منابع لاتین

- Abbott, Keith Edward. (1983). *Cities & Trade: Consul Abbott on the Economy and Society of Iran 1847-1866*. Edited by Abbas Amanat. London: Ithaca.
- Album, Stephen. (2011). *Checklist of Islamic Coins*. (3th Edition). Santa Rosa: Stephen Album Rare Coins.
- Beck, L; Bosonnet, S; Réveillon, 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". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 226(1-2), pp 153-162.
- Ben Abdelouahed, H; Gharbi, F; Roumié, M; Baccouche, S; Ben Romdhane, K; Nsouli, B; Trabelsi, A. (2010). "PIXE Analysis of Medieval Silver Coins". *Materials Characterization*. vol. 61(1), pp 59-64.
- Ben Abdelouahed, H; Incerti, S; Mantero, A. (2009). "New Geant4 Cross Section Models for PIXE Simulation". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 267(1), pp 37-44.
- Bradley Birt, E. B. (1909). *Persia: Through Persia from the Gulf to the Caspian*. New York: E. P. Dutton and Co.
- Denker, Andrea; Bohne, W; Campbell, J. L; Heide, P; Hopman, T; Maxwell, J. A; Opitz-



- Coutureau, J; Rauschenberg, J; Röhrich, J; Strub, E. (2005). "High-Energy PIXE Using Very Energetic Protons: Quantitative Analysis and Cross-Sections". *X-Ray Spectrometry*. 34(4), pp 376-380.
- Flament, Christophe; Marchetti, Patrick. (2004). "Analysis of ancient silver coins". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 226(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*. 35(3), pp 535-552.
- 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*. 6(4), pp 321-344.
- Ishii, K; Morita, S. (1988). "Theoretical Estimation of PIXE Detection Limits". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 34(2), pp 209-216.
- Johansson, Sven. A. E; Johansson, Thomas. B. (1976). "Analytical Application of Particle Induced X-Ray Emission". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 137(3), pp 473-516.
- Landor, Arnold Henry Savage. (1902). *Across Coveted Lands*. vol. 1, London: Charles Scribners Son.
- Linke, Robert; Schreiner, Manfred; Demortier, Guy. (2004). "The Application of Photo, Electron and Proton Induced X-Ray Analysis for the Identification and Characterization of Medieval Silver Coins". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 226(1), pp 172-178.
- Maxwell, J. A; Teesdale, W. J; Campbell, J. L. (1995). "The Guelph PIXE Software Package II". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 95(3), pp 407-421.
- Meyers, P. (2003). "Production, Distribution, and Control of Silver: Information Provided by Elemental Composition of Ancient Silver Objects". *Patterns and Pro-*

- cess: a Festschrift in Honor of Dr. Edward V. Sayre*. Suitland: Smithsonian Center for Materials Research and Education. pp 271–288.
- Michael, Thomas. (2015). *Standard Catalog of World Coins 1801-1900*. (8th Edition). Iola: Krause Publications.
- Rabino di Borgomale, Hyacinth Louis. (1945). *Coins, Medals, and Seals of the Shahs of Iran, 1500-1941*. Hertford: Stephan Austin and Sons Ltd.
- Rabino, Joseph. (1892). "Banking in Persia: Its Basis, History, and Prospects". *Journal of the Institute of Bankers*, no.13, pp 1-56.
- Roumié, M; Nsouli, B; Atalla, C; Waksman, S. Y. (2005). "Application of PIXE Using AI Funny Filter for Cluster Analysis of Byzantine Amphorae from Beirut". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 227(4), pp 584-590.
- Roumié, Mohamad; Reynolds, Paul; Atallah, Carol; Bakraji, Elias; Zahraman, Khaled; Nsoulia, Bilal. (2006). "Provenance Study of Excavated Pottery from Beirut Using PIXE Cluster Analysis". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 249(1-2), pp 612-615.
- Shariff, Asad; Bülow, Karin; Elfman, Mikael; Kristiansson, Per; Malmqvist, Klas G; Pal-lon, Jan. (2002). "Calibration of a New Chamber Using GUPIX Software Package for PIXE Analysis". *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 189(1-4), pp 131-137.

English Translation of References

Books

- Abbott, Keith Edward. (1983). *Cities & trade: Consul Abbott on the economy and society of Iran 1847-1866*. Edited by Abbas Amanat. London: Ithaca.
- Aghili, Abdollah. (1377/1998). "*Dār-oz-zarb-hā-ye Irān dar dowre-ye eslāmi*" (Mints of Iran in the Islamic period). Tehran: Bonyād-e Mowqfāt-e Doktor Mahmud Afšār (Foundation of Doctor Mahmoud Afshar Yazdi's Endowments). [Persian]
- Album, Stephen. (2011). *Checklist of Islamic coins* (3rd ed.). Santa Rosa: Stephen Album Rare Coins.
- Bradley Birt, E. B. (1909). *Persia: Through Persia from the Gulf to the Caspian*. New York: E. P. Dutton and Co.



- Farahbakhsh, Houshang. (1354/1975). "*Rāhnamā-ye sekke-hā-ye zarbi (čakkoši-ye) Irān...*" (Standard catalogue of Iranian mint (hammered) coins...). Tehran: Farahbaxš. [Persian]
- Heritage Auctions. (6-7 Jan 2013). *Ancient & world coins signature action*. Dallas: Heritage Auctions.
- Landor, Arnold Henry Savage. (1902). *Across coveted lands* (vol. 1). London: Charles Scribners Son.
- Matthee, Rudolph, Floor, Willem, & Clawson, Patrick. (1396/2017). "*Tārix-e puli-ye Irān: Az Safavieh tā Qājārieh*" (The monetary history of Iran: From the Safavids to the Qajars). Translated by Javad Abbasi. Tehran: Nāmak. [Persian]
- Michael, Thomas. (2015). *Standard catalog of world coins 1801-1900* (8th ed.). Iola: Krause Publications.
- Rabino di Borgomale, Hyacinth Louis. (1945). *Coins, medals, and seals of the Shahs of Iran, 1500-1941*. Hertford: Stephan Austin and Sons Ltd.

Articles

- Beck, L; Bosonnet, S; Réveillon, 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". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 226(1-2), pp. 153-162.
- Ben Abdelouahed, H.; Gharbi, F.; Roumié, M.; Baccouche, S.; Ben Romdhane, K.; Nsouli, B.; & Trabelsi, A. (2010). "PIXE analysis of medieval silver coins". *Materials Characterization*. vol. 61(1), pp. 59-64.
- Ben Abdelouahed, H; Incerti, S; Mantero, A. (2009). "New Geant4 cross section models for PIXE simulation". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 267(1), pp. 37-44.
- Denker, Andrea; Bohne, W; Campbell, J. L.; Heide, P; Hopman, T; Maxwell, J. A.; Opitz-Coutureau, J; Rauschenberg, J; Röhrich, J; & Strub, E. (2005). "High-energy PIXE using very energetic protons: Quantitative analysis and cross-sections". *X-Ray Spectrometry*. 34(4), pp. 376-380.
- Flament, Christophe; & Marchetti, Patrick. (2004). "Analysis of ancient silver coins". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Inter-*



- actions with Materials and Atoms*. 226(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*. 35(3), pp. 535-552.
- Hughes, M. J.; & Hall, J. A. (1979). "X-Ray fluorescence analysis of late Roman and Sasanian silver plate". *Journal of Archaeological Science*. 6(4), pp. 321-344.
- Ishii, K.; & Morita, S. (1988). "Theoretical estimation of PIXE detection limits". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 34(2), pp. 209-216.
- Johansson, Sven. A. E.; & Johansson, Thomas. B. (1976). "Analytical application of Particle Induced X-Ray Emission". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 137(3), pp. 473-516.
- Khademi Nadoushan, Farhang; Mohaghegh, Maryam; Hozhabri Nobari, Alireza; & Masjedi Khak, Parastou. (1394/2015). "Barresi-ye owzā'-e siāsi-eqtesādi-ye hokumat-e Aškāniān dar sāl-hā-ye 2-57 B. C. (Dowrān-e pādešvhi-ye Orod-e Dovvom va Farhād-e Čahārom): Bar asās-e tarkibāt-e šimiyāyi-ye sekke-hā-ye noqreh bā raveš-e āzmāyešgāhi-ye PIKSI" (Study in the politico-economic condition of Parthians between the 57-2 B.C, the kingdom of 2nd Orod and 4th Farhad, based on the analysis of chemical compounds of silver coins using PIXE method). *Pažuheš-hā-ye Bāstān-šenāsi-ye Irān* (Iranian Scientific Archeological Association), 5(8), pp. 53-66. [Persian]
- Kianzadegan, Sousan; Rajaei, Seyyed Jalal; Majedi Khak, Parastou; & Sa'adatmehr, Mohammad Amin. (1398/2019). "Tajzie-ye 'onsori-ye sekke-hā-ye Piruz-e Sāsāni be raveš-e PIKSI; Motālè-ye moredi: Sekke-hā-ye ganjne-ye Piruzgat-e kašf-šode az rustā-ye Tis-e Čābahār" (Elemental analysis of Piruz, the Sassanid King, coins by using PIXE technique, a case study of Piruzgat treasure coins, discovered in Tis village, Chabahar). *ā* (Iranian Scientific Archeological Association), 9(22), pp. 181-196. [Persian]
- Lamèi Rashti, Mohammad. (1382/2003). "Naqš-e tahlil-e 'onsori dar bāstān-sanji: Tajzie-ye āzmāyešgāh-e vāndogrāf" (The role of elemental analysis in archeology: The analysis of lab Van de Graaff). In Masoud Azarnoush (Ed.), "*Majmu'e*



- maqālāt-e noxoštīn hamāyeš-e bāstān-sanji dar Irān: Naqš-e 'olum-e pāyeh dar bāstān-šenāsi*" (Summary of articles the first symposium of archaeometry in Iran: The role of the sciences in archaeology). Tehran: Sāzmān-e Mirās-e Farhangi-ye Kešvar (Ministry of Cultural Heritage, Tourism and Handicraft Organization). [Persian]
- Linke, Robert; Schreiner, Manfred; & Demortier, Guy. (2004). "The application of Photo, Electron and Proton Induced X-Ray analysis for the identification and characterization of medieval silver coins". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 226(1), pp. 172-178.
- Maxwell, J. A.; Teesdale, W. J.; & Campbell, J. L. (1995). "The Guelph PIXE software package II". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 95(3), pp. 407-421.
- 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.
- Oliayi, Parvin; Afarideh, Hossein; & Agha Aligol, Davoud. (1394/2015). "Motāle'e-ye āmāri-ye sekke-hā-ye noqre-ye Haxāmaneši, Aškāni va Sāsāni bā estefāde az ānālīz-e 'onsori be raveš-e piksi" (Statistical study of the Achaemenid, Parthian and Sassanid silver coins using elemental analysis by PIXE technique). *Motāle'āt-e Bāstān-šenāsi* (Journal of Archaeological Studies), 7(1), pp. 17-28. [Persian]
- Rabino, Joseph. (1892). "Banking in Persia: Its basis, history, and prospects". *Journal of the Institute of Bankers*, no.13, pp. 1-56.
- Roumié, M.; Nsouli, B.; Atalla, C.; & Waksman, S. Y. (2005). "Application of PIXE using Al Funny Filter for cluster analysis of Byzantine Amphorae from Beirut". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 227(4), pp. 584-590.
- Roumié, Mohamad; Reynolds, Paul; Atallah, Carol; Bakraji, Elias; Zahraman, Khaled; & Nsouli, Bilal. (2006). "Provenance study of excavated pottery from Beirut using PIXE cluster analysis". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Re-*

search Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 249(1-2), pp. 612-615.

Shariff, Asad; Bülow, Karin; Elfman, Mikael; Kristiansson, Per; Malmqvist, Klas G; & Pallon, Jan. (2002). "Calibration of a new chamber using GUPIX software package for PIXE analysis". *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 189(1-4), pp. 131-137.

Dissertations

Esmaeelzade Kivi, Sina. (1392/2013). "*Motāle'e-ye ašyā-ye maksūfeh az bāft-e tārixī-ye Ardebil va mohavvate-ye tārixī-ye majmu'e-ye Šeīx Safi-od-Din-e Ardebili bā raves-e gosil-e partov-e Iks bā tābeš-e poroton (PIKSI)*" (Study of the discovered objects from the historical context of Ardabil and the historical site of the Sheikh Safi-ud-Din Ardabil complex by proton-induced X-ray emission (PIXE) technique). [Unpublished Master's thesis]. Ardebil: Dāneškade-ye 'Olum (Faculty of Sciences), Dānešgāh-e Mohaqeq-e Ardebili (University of Mohaghegh Ardabil). [Persian]

Kianzadegan, Sousan. (1397/2018). "*Tahlil-e qodrat-e eqtesādi dar dowre-ye Piruz-e Sāsāni be komak-e āzmāyeš-e PIKSI: Motāle'e-ye moredi-ye sekke-hā-ye maksūfe az Piruzgat (Čābahār, Balučestān-e Irān)*" (An analysis of economic power in Pirouz Sassani period using PIXE experiment: A case study of coins discovered from Piroozgat (Chabahar, Baluchistan, Iran)). [Unpublished Master's thesis]. Mašhad: Dāneškade-ye Adabiāt va 'Olum-e Ensāni (Faculty of Literature and Humanities), Dānešgāh-e Ferdowsi-ye Mašhad (Ferdowsi University Mashhad). [Persian]