



Elemental Analysis of Naser al-Din Shah's Qajar silver Qirans Struck in Kerman by PIXE Method

Zohre Jozi¹ & Muhammad Amin Saadat Mehr²
(129-148)

Abstract

The city and province of Kerman has always been of special importance due to its many economic and commercial opportunities, in addition to which it has had a high political position for the Qajar rulers; For these reasons, the mint has been active for a long time until 1878 AD. It was established in this city that during the period of Naser al-Din Shah Qajar (1847-1895 AD) many silver qirans were written between the years 1848-1849, 1852-1855, 1860, 1863-1867, 1869-1871, 1873, 1875-1876, and 1878 AD. Had beaten. The coinage system of the Naseri period, although nominally following the system of Tehran, but in practice each city had an autonomous military and the coins of most cities were minted with different amounts of silver purity. These issues raise two questions for the Kerman Mint: 1- What is the purity of the main elements (silver, copper, iron, gold, and lead) of the coins minted in Kerman and how has it changed? 2- What is the purity of silver coins of Kerman city, in the position of important economic city, in comparison with other important cities of Iran, such as Mashhad, Tabriz, Tehran, Isfahan, and Shiraz? Therefore, in order to answer these questions, elemental analysis of coins of this period using PIXE method due to its non-destructiveness, speed and high accuracy, became the main basis of this research. In this study, 23 coins in 19 different dates and 4 coins were analyzed to measure the validity of the results and analyzes, which resulted in a trend of changes in the purity of silver on average in three time periods between 1848-1855 AD. He explained 90.09%, 1860-1871 AD 86.53%, 1873-1878 AD 84.17%, and in the whole multiplication period 87.16%, and its position in terms of the purity of silver in front of Mashhad mints (84%), Tabriz (82%), Tehran (90%), Isfahan (84%), and Shiraz (90%). Also, valuable information was obtained on the type of silver mines used, namely the Cerussite mines and how the coins were minted with copper and iron metals.

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

doi
10.22059/jarcs.2020.297585.142849
Print ISSN: 2676-4288- Online ISSN: 2251-9297
<https://jarcs.ut.ac.ir>

1. Corresponding Author Email: Zj332244@gmail.com
Assistant professor of Archeology Department of University of Sistan and Baluchestan, Sistan and Baluchestan, Iran.
2. Ph.D. Graduated of Archeology Department of Mazandaran University, Mazandaran, Iran.

1. Introduction

The city and province of Kerman has always been an important economic base due to its location in the center of Iran and its unique commercial position; For these reasons, from the Sassanid period, the active mint until 1878 AD. It was established in this city that during the period of Naser al-Din Shah Qajar many silver Qirans were minted between the years 1848-1878 AD. The coinage system of the Naseri period, although nominally following the system of Tehran, but in practice each city had an autonomous military and the coins of most cities were minted with different amounts of silver purity. According to the new thinking, the middle monetary system of the Qajar period, ie the Naseri era in Iran, with its currencies and monetary units that did not go from place to place and from time to time and had many differences in terms of conversion rates, is very it sounds weird and irrational. To the extent that the Iranians' strategy for adapting to this situation, they were constantly calculating and converting all kinds of cash and items at various local and standard rates (Matthee et al., 2017: 281). These issues raise two questions for the Kerman Mint: 1- What is the purity of the main elements (silver, copper, iron, gold, and lead) of the coins minted in Kerman and how has it changed? 2- What is the purity of silver coins of Kerman city, in the position of important economic city, in comparison with other important cities of Iran, such as Mashhad, Tabriz, Tehran, Isfahan, and Shiraz? In the study of ancient data and their elemental compositions, different methods such as X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF), Particle-Induced X-Ray Emission (PIXE), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), Neutron Activation Analysis (NAA), etc. are used. In this research, among other methods of elemental decomposition, the PIXE method has been used to study coins due to its speed, high accuracy, and most importantly, its non-destructive nature. This method offers various types such as conventional PIXE, External PIXE, Micro PIXE, and Proton-Induced X-Ray Fluorescence (PIXRF) for archaeological studies. Therefore, the basis of this research was based on conventional PIXE and this method is a common method for elemental analysis of homogeneous samples, such as coins. In homogeneous samples, its components are evenly distributed, and if the samples are heterogeneous, other methods such as Micro PIXE, etc. can be used. This article intends to explain the amount of commitment and performance of Kerman Mint in addition to measuring the purity of silver and its changes in Kerman mints and in comparison with the mints of the main cities of Qajar Iran, namely Mashhad, Tabriz, Isfahan, and Shiraz. The studied coins belong to the personal collection of Seyyed Hassan Sadat Razavi (Hyderabad, Telangana State, India), which has been lent to the authors. These coins are dated 1848-1849, 1852-1855, 1860, 1863-1867, 1869-1871, 1873, 1875-1876, and 1878 AD. It has been minted in Kerman, which contains 19 coins different from the date of minting. Therefore, from each date of multiplication, one coin and 4 coins were considered for testing in order to measure the validity of the results and analyzes (Figure 1, Table 3). A total of 23 coins were tested in PIXE Institute of Physics, Bhubaneswar (IOPB; Odisha, India). According to the results of PIXE experiment, silver element along with copper and iron elements, the main metals to analyze the commitment of Kerman Mint to the central coinage system in the Naseri era, whose purity values in three periods, had major changes; As follows: 1- 1848-1855 AD: silver (90.09%), copper (5.97%), and iron (1.62%); 2- 1860-1871 AD: silver (86.53%), copper (8.04%), and iron (3.18%); 3- 1873-1878 AD: silver (84.17%), copper (9.32%), and iron (4.30%); And the average of the whole period: silver (87.16%), copper (7.65%), and iron (2.92%) (Table 4, Figure 3). Although the purity of silver of Kerman minted coins has decreased and changed in three periods, but the

grade of silver with an average of 87.16% during the minting compared to the main mints, namely Mashhad with an average of 84%, Tabriz with an average of 82% , Tehran with an average of 90%, Isfahan with an average of 84%, and Shiraz with an average of 90%, was very high, and this generally indicates the prosperity and economic power of Kerman in the Naseri era (Figure 4). The element copper is naturally present in amounts less than 2% in the metal of coins, but if this amount is more than this, it cannot be considered natural and must have been optionally fused; The coins of this study have an average amount of 7.65% copper, which shows a deliberate fusion to grade the coin metal. The presence of iron element, although due to surface pollution caused by the burial environment of coins, but the coins of this study are not coins found from the heart of the soil and contain more iron. These coins contain an average of 2.92% iron, which is also a sign that it has been cut to adjust the metal grade of the coins. In addition, due to the presence of lead element with an average value of 0.87%, it indicates the use of lead mines for silver metal, and haste and inaccuracy in its extraction. Lead mines are also divided into two types, Cerussite and Galena. Cerussite mines contain between 0.2-1.5% and Galena mines less than 0.2% of gold element, so in these coins, the average amount of 0.54% gold in They have a structure that can also indicate the use of Cerussite mines.

تجزیه عنصری قرآن‌های نقره ناصرالدین‌شاه قاجار ضرب‌شده در کرمان به روش پیکسی

زهرة جوزی

استادیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان، سیستان و بلوچستان، ایران.

محمدامین سعادت‌مهر

دانشجوی دکتری گروه باستان‌شناسی دانشگاه مازندران، مازندران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰

چکیده

شهر و ایالت کرمان به دلیل موقعیت‌های اقتصادی و تجاری فراوان همیشه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده، علاوه بر آن نیز جایگاه سیاسی بالایی برای حکمرانان قاجاری داشته است؛ به همین دلایل از دیرباز ضرابخانه فعالی تا سال ۱۲۹۵ ه.ق. در این شهر دایر بود که در دوره ناصرالدین‌شاه قاجار (۱۲۶۴-۱۳۱۳ ه.ق.) قرآن‌های نقره فراوانی را بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۶۶، ۱۲۶۹-۱۲۷۲، ۱۲۷۷، ۱۲۸۰-۱۲۸۴، ۱۲۸۶-۱۲۸۸، ۱۲۹۰، ۱۲۹۲-۱۲۹۳ و ۱۲۹۵ 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 ضرابخانه کرمان مطرح می‌سازد: ۱- مقدار خلوص عناصر اصلی (نقره، مس، آهن، طلا و سرب) سکه‌های ضرب‌شده در کرمان چگونه بوده و سیر تغییرات آن چگونه رقم خورده است؟ ۲- مقدار خلوص نقره سکه‌های شهر کرمان، در جایگاه شهر مهم اقتصادی، در مقایسه با دیگر شهرهای مهم ایران، نظیر مشهد، تبریز، تهران، اصفهان و شیراز چگونه بوده است؟ بنابراین برای پاسخ گفتن به این سؤالات 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. در این پژوهش تعداد ۲۳ سکه در ۱۹ تاریخ متفاوت و ۴ سکه جهت سنجش اعتبار نتایج و تحلیل‌ها، مورد تجزیه عنصری قرار گرفت که در نتیجه روند تغییرات میزان خلوص نقره را به طور میانگین در سه بازه زمانی بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۷۲ ه.ق. ۹۰،۰۹٪، ۱۲۷۷-۱۲۸۸ ه.ق. ۸۶،۵۳٪، ۱۲۹۰-۱۲۹۵ ه.ق. ۸۴،۱۷٪ و در کل دوره ضرب ۸۷،۱۶٪، تبیین نمود و جایگاه آن از نظر میزان خلوص نقره در مقابل ضرابخانه‌های مشهد (۸۴٪)، تبریز (۸۲٪)، تهران (۹۰٪)، اصفهان (۸۴٪) و شیراز (۹۰٪)، مشخص گردانید. در آخر نیز اطلاعات ارزشمندی از نحوه تغییر عیار فلز سکه‌ها با فلزات مس و آهن و نوع معادن نقره مورد استفاده، یعنی معادن سروزیت به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: کرمان، اقتصاد، ناصرالدین‌شاه قاجار، آزمایش پیکسی، سکه‌شناسی.

۱. مقدمه

شهر و ایالت کرمان به دلیل موقعیت‌های اقتصادی و تجاری فراوان همیشه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است؛ از این رو از دوران ساسانی سکه‌هایی با نام این شهر تابع نظام پولی حکومتی، به ضرب می‌رسید (Mochiri, 1977: 2/453). در گذشته حاکمیت‌ها در جهت تضمین ارزش پول بر اساس محتوای فلزی، قوانین وضع کرده و کارگزاری 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 قرآن‌های 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 دیگران، ۱۳۹۶: ۴۴ و ۲۸۱-۲۸۲). کرمان نیز از این دایره خارج نبوده و قرآن‌های نقره محلی فراوانی با نرخ‌های نامشخص به صورت پراکنده، بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۹۵ ه.ق. به ضرب رسانده بود.

این 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 دیگران، ۱۳۹۸: ۱۸۲)؛ از این رو

تجزیه عنصری سکه‌های این دوره، به‌ویژه با استفاده از تجزیه عنصری پیکسی^۱ می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره شرایط سیاسی-اقتصادی در اختیار گذارد 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 کرمان در تاریخ‌های ۱۲۶۵-۱۲۶۶، ۱۲۶۹-۱۲۷۲، ۱۲۷۷، ۱۲۸۰-۱۲۸۴، ۱۲۸۶-۱۲۸۸، ۱۲۹۰، ۱۲۹۲-۱۲۹۳ و ۱۲۹۵ ه.ق به ضرب رسیده‌اند که در مجموع ۱۹ سکه متفاوت از منظر تاریخ ضرب را در برمی‌گیرد؛ از این رو از هر تاریخ ضرب، یک سکه برای آزمایش در نظر گرفته شد و پس از رؤیت نتایج آزمایش، ۴ سکه دیگر نیز جهت سنجش اعتبار نتایج و تحلیل‌ها، به آزمایشگاه ارسال گردید که در مجموع تعداد ۲۳ سکه در مؤسسه فیزیک بوبانسور^۲ (ایالت اوریسا، هند) مورد آزمایش پیکسی قرار گرفت. از آنجا که نظام پولی دوره ناصری از ساختار خاصی پیروی نمی‌کرد و سکه‌های هر محل با عبارهای متفاوت به ضرب می‌رسید، دو پرسش مطرح می‌شود: ۱- مقدار خلوص عناصر اصلی (نقره، مس، آهن، طلا و سرب) سکه‌های ضرب‌شده در کرمان چگونه بوده و سیر تغییرات آن چگونه رقم خورده است؟ ۲- مقدار خلوص نقره سکه‌های شهر کرمان، در جایگاه شهر مهم اقتصادی، در مقایسه با دیگر شهرهای مهم ایران، نظیر مشهد، تبریز، تهران، اصفهان و شیراز چگونه بوده است؟ در این نوشتار سعی بر آن بوده که علاوه بر تلفیق نگاشته‌های تاریخی و اطلاعات سکه‌شناسی، به تجزیه عنصری پیکسی سکه‌های ناصرالدین‌شاه ضرب کرمان در تمامی تاریخ‌های ضرب، پرداخته شود تا تحلیلی از نحوه عملکرد و تعهد این ضرابخانه به نظام مرکزی ضرب مسکوکات در قیاس با سایر شهرهای پراهمیت سنجدیده و ارائه گردد.

۲. روش پژوهش

در پژوهش داده‌های باستانی و ترکیبات عنصری آنها روش‌های متفاوتی نظیر پراش پرتو ایکس^۳، فلورسانس پرتو ایکس^۴، انتشار پرتوی ایکس ناشی از ذرات^۵، طیف‌سنجی جذب اتمی^۶، تجزیه فعال‌سازی نوترونی^۷ و غیره استفاده می‌شود (خادمی ندوشن و دیگران، 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، پیکسی با باریکه خارجی^۸، میکروپیکسی^۹ و فلورسانس پرتوی ایکس ناشی از پروتون^{۱۰} را برای مطالعات باستان‌سنجی ارائه می‌دهد (لامعی‌رشتی، ۱۳۸۲: ۷۵-۹۲)؛ 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 (اسماعیل‌زاده کیوی، ۱۳۹۲: ۲۸).

۳. 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 گرفت. در این سال جلسه‌ای با حضور اپنهايمر^{۱۱} رئیس مطالعات علوم دانشگاه پرینستون، دادسون^{۱۲} رئیس بخش شیمی آزمایشگاه ملی بروکيهون^{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 تندی در باستان‌شناسی کاربرد یافت (Gordon & Kraner, 1972: 141)، حتی موزه لوور نیز با خرید شتاب‌دهنده‌ای مناسب، آزمایشگاه ویژه‌ای تأسیس نمود (لامعی‌رشتی و دیگران، ۱۳۸۱: ۴۳۱). در ایران نیز معرفی تجزیه عنصری پیکسی در مطالعات باستان‌سنجی برای اولین بار به سال ۱۳۸۱ (۸-۹ 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؛ و پس از آن اولین مقاله با استفاده از این شیوه نیز با عنوان معرفی روش پیکسی خارجی در آنالیز مرکب و کاغذ قدیمی، توسط محمد لامعی‌رشتی و دیگران (۱۳۸۱) به چاپ رسید. با گذشت اندکی زمان، تجزیه عنصری پیکسی برای بیشتر داده‌های باستانی به ویژه سکه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. به طور اختصاصی نیز در باب عیارسنجی سکه‌های نقره ناصرالدین‌شاه، برای اولین بار در همان عصر، پیکن به درخواست رابینو نمونه سکه‌هایی از ضرابخانه‌های 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 (۱۳۰۹ ه.ق) منتشر ساخت (Rabino, 1892: 1-56).

۴. نظام از هم گسیخته پول رایج

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 می‌آید. تا جایی 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 دیگران، 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 با توجه به نوشته وی، یزد در سال‌های ۱۸۴۹-۱۸۵۰ م (۱۲۶۵-۱۲۶۶ 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، درحالی که 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 پنبادی 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 راه‌اندازی ضرابخانه مدرن در سال ۱۲۹۴ ه.ق بخشی از دلیل این تغییرات آن بود که ضرابخانه‌های محلی به سادگی با معیارهای رسمی در زمینه وزن و عیار کنار نمی‌آمدند. پیکن در همان عصر نمونه‌ای از سکه‌های ضرابخانه‌های محلی را بررسی نموده (جدول ۱) و رابینو خلاصه این بررسی را این‌گونه 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 قیران‌های دیگر شهرها و پایتخت از نظر پولی تفاوت بسیار قابل توجهی است، گرچه کمتر از آن چیزی است که به طور افراطی نقل می‌شود» (Rabino, 1892: 37).

جدول ۱- نمونه وزن و عیار قیران‌های نقره در ضربخانه‌های چند منطقه (Rabino, 1892: 37)

Table 1: Sample weight and carat of silver Qirans in mints of several regions (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
طبرستان	۱۲۹۲ ه.ق/ ۱۸۷۶ م	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 سکه‌هایی با وزن و عیار یکسان کرد، نظام پولی منطقه‌ای به کار خود ادامه می‌داد. لندور که در سال ۱۹۰۱ م (۱۳۱۹ ه.ق) در ایران مسافرت می‌کرد، دریافت که «هرگز نمی‌دانم که ارزش یک قیران دقیقاً چقدر است و در هر ایالتی در مقابل قیران‌هایم، شاهی‌های متفاوتی دریافت کردم» (Landor, 1902: 1/131). بردلی‌برت نیز در سال ۱۹۱۰ م (۱۳۲۸ ه.ق) گلایه داشت که: «ناپایداری نرخ بانکی ایران بی‌شک برای هر کسی 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، به طور پیوسته پایین می‌آمد. در حالی که من در بوشهر برای هر ۱۵ روپیه یا سلطنتی انگلیسی ۵۱ قیران دریافت کردم، وقتی به تهران رسیدم تنها ۴۷ قیران گرفتم، در حالی که کمی پیشتر در آنجا به من گفته شد که نرخ روی مبلغ بالای ۶۰ قیران ایستاده است» (Bradley Birt, 1909: 52-53).

۵. قیران‌های نقره ضرب دستی (۱۲۶۴-۱۲۹۶ ه.ق)

سکه‌ها در دوره قاجار به صورت دستی ضرب می‌گشتند؛ بنابراین بر طبق نیاز اقتصادی، هر شهر و ایالت ضربخانه‌ای دایر بود که برحسب توان مالی، میزان تولید سکه‌ها رقم می‌خورد؛ به همین 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. ضرابخانه‌های تشریفاتی: سرخس، سیستان (Album, 2011: 291-296; Michael, 2015: 794-804)،

شوشتر و رکاب (نوبن‌فرخ‌بخش، ۱۳۸۵: ۱۰۹)

این ضرابخانه‌ها بر اساس موقعیت سکه‌هایی از جنس طلا، نقره و مس با واحدهای پولی و وزنی متفاوت به ضرب می‌رساندند، اما چون اساس این پژوهش قرآن‌های نقره بوده، در ادامه فقط به ذکر واحدهای پولی و وزنی سکه‌های نقره پرداخته می‌شود.

در اوایل دوران سلطنت محمدشاه (۱۲۵۱-۱۲۶۴ ه.ق)، یعنی در سال ۱۲۵۴ ه.ق اوزان قرآن‌های نقره از تومانی (۱۰۰۰۰ 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 گشت (Album, 2011: 291-296).

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)

Table 2: Currencies and weights of silver hammered coins of the Naseri period (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 مناسبی 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

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

۶. معرفی نمونه‌های مورد آزمایش

طرح قرآن‌های ناصرالدین‌شاه ضرب‌شده در کرمان (شکل ۱)، به مانند سایر سکه‌های این عصر در ضرابخانه‌های دیگر است؛ به طور کلی بر روی این سکه‌ها عبارت «السلطان ابن السلطان ناصرالدین‌شاه قاجار» نگاشته شده است و پشت این سکه‌ها نیز عبارت «ضرب دارالامان کرمان» به همراه تاریخ ضرب سکه بر آنها نقر گردیده است (نوبن‌فرخ‌بخش، ۱۳۸۵: ۱۰۸-۱۰۹).



شکل ۱- برخی از سکه‌های آزمایش‌شده؛ نمونه‌های ۳، ۵، ۱۶ و ۱۹ (نگارندگان)

Figure 1: Some of the coins tested; Examples 3, 5, 16 and 19 (authors)

سکه‌های مورد مطالعه در این پژوهش از مجموعه شخصی سیدحسن سادات رضوی به امانت رفته و مورد آزمایش قرار گرفته است؛ اما این سؤال پیش می‌آید که معیار انتخاب این سکه‌ها چه بوده است؟ سکه‌های ناصرالدین‌شاه در کرمان، میان سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۶۶، ۱۲۶۹-۱۲۷۲، ۱۲۷۷، ۱۲۸۰-۱۲۸۴، ۱۲۸۶-۱۲۸۸، ۱۲۹۰-۱۲۹۲، ۱۲۹۳-۱۲۹۵ ه.ق به ضرب رسیده است (Album, 2011: 291-296; Michael, 2015: 796) که ۱۹ سکه متفاوت را از نظر تاریخ ضرب در برمی‌گیرد؛ بنابراین از هر تاریخ ضرب، یک سکه برای آزمایش در نظر گرفته شد و تعداد ۴ سکه نیز پس از رؤیت نتایج آزمایش جهت سنجش اعتبار نتایج و تحلیل‌ها، به آزمایشگاه فرستاده شد (درباره چرایی انتخاب این ۴ سکه در قسمت «بحث و تحلیل یافته‌ها» توضیح داده می‌شود) که در کل تعداد ۲۳ سکه مورد آزمایش پیکسی قرار گرفت. مشخصات کامل سکه‌های انتخابی به ترتیب تاریخ‌های ضرب، در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- مشخصات سکه‌های مورد آزمایش (نگارندگان)

Table 3: Specifications of tested coins (authors)

شماره نمونه	تاریخ ضرب	وزن سکه	شماره نمونه	تاریخ ضرب	وزن سکه
۱	۱۲۶۵ ه.ق	۵,۲۳ گرم	۲	۱۲۶۶ ه.ق	۵,۱۹ گرم
۳	۱۲۶۹ ه.ق	۵,۳۱ گرم	۴	۱۲۷۰ ه.ق	۵,۲۷ گرم
۵	۱۲۷۱ ه.ق	۵,۱۶ گرم	۶	۱۲۷۲ ه.ق	۵,۲۱ گرم
۷	۱۲۷۷ ه.ق	۴,۸۹ گرم	۸	۱۲۸۰ ه.ق	۴,۹۳ گرم
۹	۱۲۸۱ ه.ق	۴,۹۵ گرم	۱۰	۱۲۸۲ ه.ق	۴,۹۶ گرم
۱۱	۱۲۸۳ ه.ق	۴,۸۷ گرم	۱۲	۱۲۸۴ ه.ق	۴,۹۹ گرم
۱۳	۱۲۸۶ ه.ق	۴,۹۰ گرم	۱۴	۱۲۸۷ ه.ق	۴,۹۶ گرم
۱۵	۱۲۸۸ ه.ق	۴,۹۱ گرم	۱۶	۱۲۹۰ ه.ق	۴,۸۸ گرم
۱۷	۱۲۹۲ ه.ق	۴,۹۲ گرم	۱۸	۱۲۹۳ ه.ق	۴,۹۷ گرم
۱۹	۱۲۹۵ ه.ق	۴,۹۵ گرم	***	***	***
۲۰	۱۲۷۲ ه.ق	۵,۲۹ گرم	۲۱	۱۲۷۷ ه.ق	۴,۹۱ گرم
۲۲	۱۲۸۸ ه.ق	۴,۸۶ گرم	۲۳	۱۲۹۰ ه.ق	۴,۹۷ گرم

۷. تجزیه عنصری سکه‌های مورد آزمایش

وقتی تجزیه عنصری روی مقادیر مطلق عناصر انجام می‌گیرد، روشن است که باید به آلودگی نمونه‌ها توجه شود؛ بنابراین آماده‌کردن نمونه‌ها یکی از مشکلات اساسی در آزمایش پیکسی است. برای تجزیه عنصری بهتر و دقیق‌تر نمونه‌ها، در بسیاری از موارد ترجیح داده می‌شود از نمونه‌های نازک که بعضاً از نمونه‌های ضخیم به دست می‌آید، استفاده شود. اگر زمانی به دست‌آوردن 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.

به دلیل نگرانی از یونیزاسیون^{۱۵} سطح سکه‌های نقره (با آلیاژی از مس)، به دلیل پاک‌سازی غیراصولی (Beck et al., 2004: 153-162)، سکه‌های این پژوهش در محلول اسید بسیار رقیق (در حدود پنج ساعت) غوطه‌ور گشته و پس از آن با آب مقطر شستشو شدند؛ بدین ترتیب لایه‌های آلودگی از روی سطح آنها برداشته شد. با توجه به اینکه مقادیر برخی از عناصر بسیار ناچیز هستند، اگر توجه زیادی در گذاشتن و برداشتن نمونه اعمال نشود، آلودگی‌هایی در همان حد 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 قرار دادن در محفظه، در صورت امکان با مواد تمیزکننده، از قبیل الکل و غیره تمیز کرد (کیان‌زادگان، ۱۳۹۷: ۵).

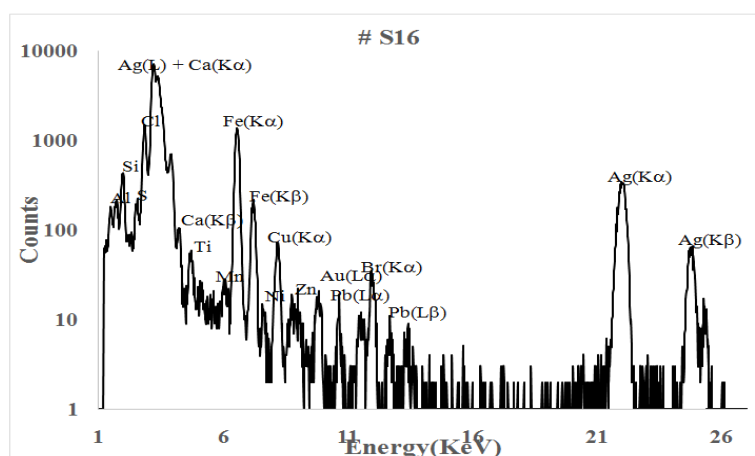
مسائل مختلفی در آزمایش پیکسی در نظر گرفته می‌شود تا میزان خلوص مطلق اجزای اصلی و عناصر کم‌مقدار نمونه‌ها به خوبی تعیین گردد (Ishii & Morita, 1988: 209-216). با توجه به مطالعات انجام‌شده، بهترین حالت تعیین مقدار عناصر، بر استفاده از انرژی ۳ MeV^{۱۶} بر پروتون با توجه به ماتریس عنصر اصلی نمونه مورد آزمایش، استوار است (Roumié et al., 2005: 584-590)، از این رو در این پژوهش از شتاب‌دهنده متناوب پلترون^{۱۷} ۱،۷ MV^{۱۸} موسسه فیزیک بوبانسور استفاده گردید.

قرار دادن نمونه‌ها در محفظه آزمایش در قسمت نگهدارنده چرخشی نمونه هدف که به واسطه کامپیوتر و از طریق موتور پله‌ای^{۱۹} قابل کنترل بوده، قدم بعدی را تشکیل می‌دهد؛ محفظه نمونه‌ها دارای چندین درگاه برای عملکردهای متفاوت بوده که دو عملکرد مهم آن برای تجزیه عنصری پیکسی و طیف‌سنجی بازتابی رادرفورد^{۲۰} است (Ben Abdelouahed et al., 2010: 59-64). پس از قرار گرفتن نمونه‌ها برای جلوگیری از افت انرژی پروتون و تضعیف پرتوی ایکس گسیلی از نمونه هدف، باید هوای محفظه آزمایش تخلیه گردد و خلأی در حدود 10^{-7} Torr^{۲۱} ایجاد شود که معمولاً این عمل با استفاده از پمپ‌های چرخشی و دفیوژنی صورت می‌پذیرد (Gaschen et al., 2008: 535-552).

سپس باریکه‌ای از انرژی (در اینجا ۳ MeV بر پروتون) از داخل محفظه واکنش عبور می‌کنند 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^{۲۲} متوقف می‌شود که به جمع‌کننده بار متصل است (اولیایی و دیگران، ۱۳۹۴: ۲۱). در درجه تعبیه‌شده در محفظه قرارگیری نمونه هدف و در راستای زاویه 135° مسیر پرتو، یک آشکارساز ORTEC Si (Li) جمع‌کننده پرتوهای موازی (FWHM^{۲۳} ۱۷۰ eV^{۲۴} در ۵،۹ keV^{۲۵}) با 30 mm^2 ^{۲۶} پهنه فعال و $12,7 \mu\text{m}$ ^{۲۷} ضخامت پنجره Be، برای شناسایی پرتوهای ایکس انتشاریافته از نمونه‌های مورد آزمایش، قرار گرفته است که می‌تواند امکان شناسایی عناصر سبک و سنگین را همزمان فراهم آورد (Ben Abdelouahed

آشکارساز قرار داده شود (Roumié et al., 2006: 612-615). برای دقت بیشتر در این امر پیشنهاد می‌شود که یک فیلتر آلومینیومی در مقابل پنجره

مشخصه بار پرتو در نمونه، به وسیله تقویت‌کننده یکپارچه بار و با اتصال به یک شمارنده دیجیتال، اندازه‌گیری می‌شود؛ در اینجا برای جلوگیری از اختلال در عملکرد آشکارساز بهتر است جریان پرتو را پایین‌تر از ۳ nA نگه داشت. سیگنال‌های آشکارساز تشکیل و تقویت می‌شود و سرانجام از طریق تحلیل ارتفاع پالس، طیف انرژی در یک تحلیلگر چندکاناله ذخیره‌شده و نمایش داده می‌شود (شکل ۲) (Ben Abdelouahed et al., 2010: 59-64).



شکل ۲- نمونه طیف‌های آزمایشگاهی؛ نمونه شماره ۱۶ (نگارندگان)

Figure 2: Sample of laboratory spectra; Sample No. 16 (Authors)

برای پردازش طیف‌های به دست آمده و تبیین مقدار خلوص عناصر سکه‌ها از نرم‌افزار گوییکس^{۲۹} استفاده می‌شود (Maxwell et al., 1995: 407-421) و برای این تحلیل، از دست رفتن انرژی ۳ MeV بر پروتون، تغییر سطح مقطع تولید پرتوی ایکس با کاهش انرژی پروتون، جذب پرتوی ایس از اعماق مختلف و تأثیر عنصری (تقویت اثر پرتوی ایکس) آن را مد نظر قرار می‌دهد. این نرم‌افزار از تمام مشخصات پرتوهای ایکس واردشده در آشکارساز Si (Li) با هدف تولید منحنی نظری، استفاده کرده و همچنین قله کمینه، قله بیشینه و توالی کم‌انرژی پرتوهای ایکس را محاسبه می‌کند (Ben Abdelouahed et al., 2010: 59-64). برای محاسبه مقدار خلوص عناصر در سکه‌ها، هر طیف از نظر کیفی مشخص می‌گردد تا جریان‌های مختلف پرتوی ایکس عناصر موجود در طیف و بار کلی Q_p که بر پرتون‌های N_p حمل شده را به گوییکس معرفی کند ($Q_p = 1.60210 \cdot 10^{-13} N_p \mu C$). سپس داده‌های ورودی توسط برنامه‌ای با هدف تولید طیف نظری با تمام عناصر قابل مشاهده، مورد استفاده قرار می‌گیرند. محاسبه نظری شدت جریان تابش پرتوی ایکس $I_i(Z)$ مبتنی بر فرض نمونه همگن و مسطح است. با توجه به روش این آزمایش، پرتوی 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 پرتوی پروتون قرار گرفته و یک زاویه سه‌بعدی کوچک 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:

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

که کاهش انرژی پرتوی پروتون E_p واردشده به نمونه و تضعیف پرتوهای تابشی ایکس عناصر در جهت آشکارساز را محاسبه می‌کند (Ben Abdelouahed et al., 2010: 59-64). در فرمول بالا $\sigma_Z(\delta, E_p)$ با بخش مقطع یونیزاسیون ارتباط دارد که با عمق δ متفاوت بوده و به دلیل از دست دادن انرژی dE_p از پرتوهای پروتون به دست آمده است. در اینجا ω_Z عملکرد فلورسنس، τ_Z/τ کسری از کل انتشارا پرتوی ایکس از خط تجزیه‌شده، A_Z جرم اتمی عنصر در نظر گرفته‌شده، N_{av} عدد آووگادرو^{۳۰} بوده، 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: 37-44). برای دقیق‌تر شدن تجزیه و تحلیل داده‌های طیفی، باید گوپیکس را با نتایج تجزیه دو سکه معاصر، یعنی قسمت داخلی سکه‌های یورو کالیبره^{۳۱} کرد، چراکه قسمت‌های داخلی سکه‌های یک (۷۵٪ مس و ۲۵٪ نیکل) و دو یورویی (۷۵٪ مس، ۲۰٪ روی و ۵٪ نیکل) مقادیر خلوص عناصر آنها به خوبی تعریف‌شده و می‌تواند به عنوان استاندارد مرجع مورد استفاده قرار گیرد. مرحله کالیبراسیون برای به دست آوردن ضریب کالیبراسیون، معروف به مقدار H انجام می‌شود (Denker et al., 2005: 376-380) که به شدت محاسبه‌شده (از پایگاه داده گوپیکس) $I_t(Z)$ از خط پرتوی ایکس تابشی عنصر Z محاسبه‌شده با $I_m(Z)$ ، یعنی به فرمول $I_m(z) = H I_t(Z)$ مربوط می‌شود (Shariff et al., 2002: 131-137). آخرین مرحله تعریف روش آزمایش برای گوپیکس به دلیل متناسب ساختن طیف اولیه آزمایش است تا مقادیر عناصر تشکیل‌دهنده نمونه در رایانه آشکار شود. نتایج تجزیه عنصری ۱۹ سکه اصلی مورد آزمایش در جدول ۴ آمده است:

جدول ۴- نتایج تجزیه عنصری سکه‌های مورد مطالعه به روش پیکسی (نگارندگان)

Table 4: Results of elemental analysis of the studied coins by PIXE method (authors)

شماره	تاریخ	Al	Si	S	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Ag	Au	Hg	Pb
۱	۱۲۶۵			۰.۱۷		۰.۰۹	۰.۱۸	۱.۵۹		۶.۱۹		۰.۳۳	۹۰.۰۳	۰.۴۶		۰.۹۶
۲	۱۲۶۶	۰.۰۸			۰.۳۰	۰.۱۰		۱.۶۵		۵.۷۶			۹۰.۱۲	۰.۶۲	۰.۲۲	۰.۹۴
۳	۱۲۶۹	۰.۱۲	۰.۰۹		۰.۲۴			۱.۴۸	۰.۱۸	۵.۹۰		۰.۲۹	۹۰.۰۸	۰.۵۷		۰.۸۷
۴	۱۲۷۰			۰.۱۶	۰.۱۷		۰.۱۷	۱.۶۲	۰.۳۰	۵.۴۴	۰.۲۵		۹۰.۰۵	۰.۵۱	۰.۱۲	۰.۹۳
۵	۱۲۷۱			۰.۲۰		۰.۰۷		۱.۷۱		۶.۴۳			۹۰.۱۷	۰.۵۴		۰.۸۸
۶	۱۲۷۲				۰.۳۱			۱.۶۷	۰.۲۲	۶.۱۴			۹۰.۱۳	۰.۴۷		۰.۷۸
۷	۱۲۷۷		۰.۱۳			۰.۰۸		۳.۲۵	۰.۱۸	۸.۴۱			۸۶.۵۳	۰.۵۹		۰.۸۳
۸	۱۲۸۰			۰.۱۹	۰.۲۸	۰.۱۱		۳.۰۹		۷.۹۴			۸۶.۴۸	۰.۶۱	۰.۲۱	۰.۸۹
۹	۱۲۸۱	۰.۱۱	۰.۲۲					۳.۱۷		۸.۲۶	۰.۱۴	۰.۲۸	۸۶.۵۱	۰.۵۰		۰.۸۱
۱۰	۱۲۸۲						۰.۱۶	۳.۲۲	۰.۱۶	۷.۸۹		۰.۳۴	۸۶.۶۰	۰.۵۴	۰.۱۹	۰.۹۰
۱۱	۱۲۸۳			۰.۲۱	۰.۲۳			۳.۱۴		۸.۲۰			۸۶.۵۹	۰.۶۴		۰.۹۹
۱۲	۱۲۸۴	۰.۱۸		۰.۲۵	۰.۳۶	۰.۱۲		۳.۰۵		۸.۰۹	۰.۱۱		۸۶.۴۷	۰.۶۰		۰.۷۷
۱۳	۱۲۸۶	۰.۰۸		۰.۱۴	۰.۲۶			۲.۹۸	۰.۱۴	۸.۲۴			۸۶.۵۵	۰.۵۸	۰.۱۸	۰.۸۵
۱۴	۱۲۸۷				۰.۲۹	۰.۲۳		۳.۴۴	۰.۱۹	۷.۸۰	۰.۱۹		۸۶.۵۲	۰.۵۲		۰.۸۲
۱۵	۱۲۸۸		۰.۱۷	۰.۲۳				۳.۳۲	۰.۲۷	۷.۵۴	۰.۱۷	۰.۲۷	۸۶.۵۳	۰.۵۶		۰.۹۴
۱۶	۱۲۹۰	۰.۱۰	۰.۱۶	۰.۲۱	۰.۲۷	۰.۰۵	۰.۰۵	۴.۲۷	۰.۲۴	۸.۳۲	۰.۰۴	۰.۳۳	۸۴.۲۲	۰.۴۸		۰.۸۴
۱۷	۱۲۹۲	۰.۰۹		۰.۱۸				۴.۳۸	۰.۱۴	۹.۵۲			۸۴.۱۳	۰.۵۶	۰.۱۵	۰.۸۵
۱۸	۱۲۹۳		۰.۱۱					۴.۳۲	۰.۱۲	۹.۶۶	۰.۱۵		۸۴.۱۹	۰.۵۳		۰.۹۲
۱۹	۱۲۹۵	۰.۰۸		۰.۱۹				۴.۲۳		۹.۷۸		۰.۲۲	۸۴.۱۷	۰.۴۵		۰.۸۸

۸. بحث و تحلیل در یافته‌ها

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 تشکیل‌دهنده فلز سکه‌ها باید دانست؛ اما هرکدام از این عناصر چگونه تحلیل می‌شود؟ ابتدا برای پاسخ به این سؤال باید پایین‌ترین و بالاترین حد مقدار هر عنصر مشخص گردد (جدول ۵).

جدول ۵- میزان حد پایین‌ترین و بالاترین مقدار عناصر اصلی فلز سکه‌های مورد مطالعه (نگارندگان)

Table 5: The amount of the lowest and highest amount of the main elements of the metal of the studied coins (authors)

طلا	سرب	آهن	مس	نقره	*
٪۰,۴۵	٪۰,۷۷	٪۱,۴۸	٪۵,۴۴	٪۸۴,۱۳	پایین‌ترین
٪۰,۶۴	٪۰,۹۹	٪۴,۳۸	٪۹,۷۸	٪۹۰,۱۷	بالاترین

مقدار خلوص نقره این سکه‌ها بین ۸۴,۱۳-۹۰,۱۷٪ بوده که اختلاف مقدار ۶,۰۴٪ بین بالاترین و پایین‌ترین حد خلوص نقره مشاهده می‌شود؛ اما 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 نمود؛ بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۷۲ ه.ق میانگین خلوص نقره ۹۰,۰۹٪ خلوص بوده، اما در بین سال‌های ۱۲۷۷-۱۲۸۸ ه.ق با میانگین ۸۴,۱۷٪ خلوص نقره، افول کیفیت و افت ارزش قران‌های ضرب کرمان احساس می‌شود.

همان‌طور که مشاهده می‌شود بین سال‌های ۱۲۷۷-۱۲۸۸ و ۱۲۹۰-۱۲۸۸ ه.ق دو نقطه عطف وجود دارد که میزان خلوص نقره از محدوده ۹۰٪ به ۸۶٪ و از محدوده ۸۶٪ به ۸۴٪ کاهش می‌یابد، بنابراین وجود آزمایشی مجدد بر روی سکه‌هایی جدید از تاریخ‌های این نقاط عطف جهت سنجش اعتبار نتایج و تحلیل‌ها، ضروری است. به همین خاطر تعداد ۴ سکه با تاریخ‌های ضرب ۱۲۷۲، ۱۲۷۷، ۱۲۸۸ و ۱۲۹۰ ه.ق به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج آن (جدول ۶) درستی و اعتبار تحلیل‌ها را تأیید می‌کند.

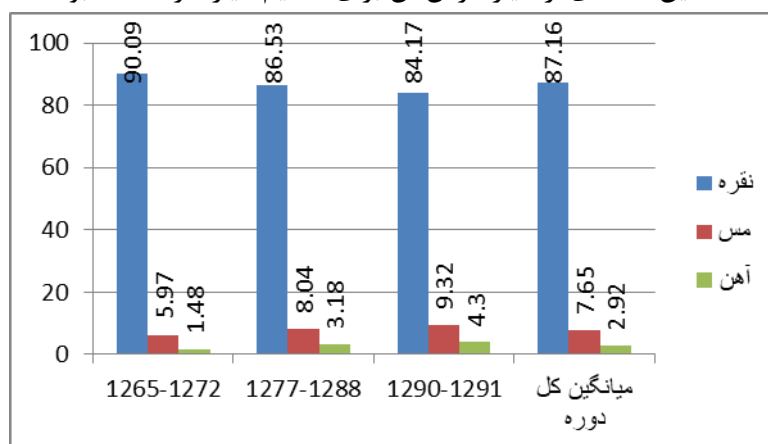
جدول ۶- نتایج تجزیه عنصری سکه‌های نقاط عطف (نگارندگان)

Table 6: Results of elemental analysis of milestone coins (authors)

شماره	تاریخ	Al	Si	S	Cl	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Ag	Au	Hg	Pb
۲۰	۱۲۷۲				۰,۲۳	۰,۲۷	۰,۰۹		۱,۵۲		۶,۱۰			۹۰,۱۵	۰,۵۹	۰,۱۷	۰,۸۸
۲۱	۱۲۷۷	۰,۰۹	۰,۱۷						۳,۲۵		۸,۳۶	۰,۱۱	۰,۲۱	۸۶,۵۹	۰,۴۹		۰,۷۳
۲۲	۱۲۸۸				۰,۱۸	۰,۲۱		۰,۱۱	۳,۴۸	۰,۲۱	۷,۶۹	۰,۱۵		۸۶,۶۲	۰,۵۱		۰,۸۴
۲۳	۱۲۹۰		۰,۱۶	۰,۱۷				۰,۱۴	۴,۳۵			۰,۱۲		۸۴,۱۷	۰,۵۷		۰,۸۶

فلز 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 (Hughes & Hall, 1979: 321-344). سکه‌های این پژوهش دارای مقدار ۵,۴۴-۹,۷۸٪ مس است که اختلاف مقدار ۴,۳۴٪ بین بالاترین و پایین‌ترین حد خلوص مس مشاهده می‌شود؛ با توجه به جدول ۴ و ستون درصد خلوص مس، می‌توان تغییرات خلوص مس را در بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۷۲ ه.ق با میانگین ۵,۹۷٪، بین سال‌های ۱۲۷۷-

۱۲۸۸ ه.ق با میانگین ۸,۰۴٪ و بین سال‌های ۱۲۹۰-۱۲۹۵ ه.ق با میانگین ۹,۳۲٪، شاهد بود که این می‌تواند نشان‌دهنده آمیختگی اختیاری این فلز جهت پایین آوردن مقدار خلوص نقره باشد. همچنین وجود عنصر آهن به گونه معمول، به واسطه آلودگی سطح که ناشی از محیط دفن‌شدن سکه‌ها بوده (Flament & Marchetti, 2004: 179-184)؛ اما سکه‌های این پژوهش سکه‌های پیداشده از دل خاک نبوده و میزان زیادی از آهن را در خود جای داده‌اند، بلکه از مقداری بین ۱,۴۸-۴,۳۸٪ آهن برخوردارند که اختلاف مقدار ۲,۹۰٪ بین بالاترین و پایین‌ترین حد خلوص آهن مشاهده می‌شود؛ با توجه به جدول ۴ و ستون درصد خلوص آهن، می‌توان تغییرات خلوص آهن را در بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۷۲ ه.ق با میانگین ۱,۶۲٪، بین سال‌های ۱۲۷۷-۱۲۸۸ ه.ق با میانگین ۳,۱۸٪ و بین سال‌های ۱۲۹۰-۱۲۹۵ ه.ق با میانگین ۴,۳۰٪، در نظر گرفت که این نشانه‌ای از آلیاژ کردن آن برای تنظیم عیار فلز سکه‌ها بوده است.



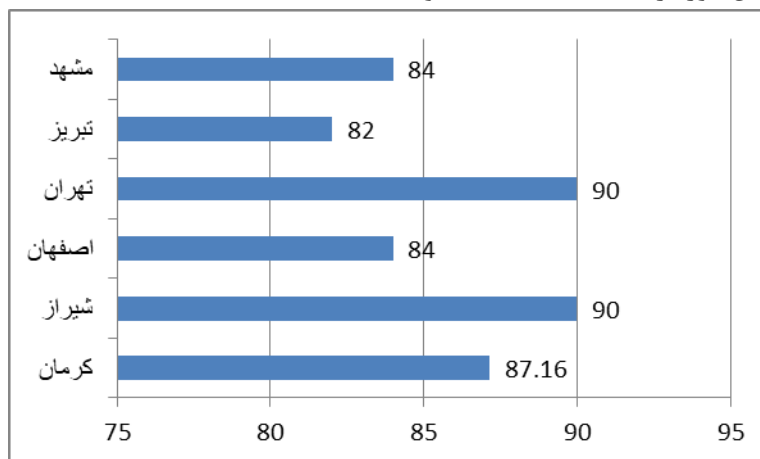
شکل ۳- نمودار تغییرات مقدار خلوص نقره، مس و آهن در بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۹۵ ه.ق (نگارندگان)

Figure 3: Chart of changes in the purity of silver, copper and iron between 1849-1878 AD (authors) 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 ۰,۸۷٪ سرب را در خود جای داده که استفاده از معادن سرب و تعجیل و عدم دقت کافی در استحصال نقره را نشان دهد.

معادن سربی که از آنها نقره نیز استخراج می‌شود در دو گروه سروزیت^{۳۲} و گالنا^{۳۳} قرار می‌گیرند؛ بنابراین اگر نقره استفاده شده در سکه‌ها از معادن سروزیت به دست آمده باشد، مقدار طلای موجود در آن باید به طور تقریب بین ۰,۲ تا ۱,۵٪ متغیر است و 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 ۰,۵۴٪ طلا در ساختار آنها دیده می‌شود که می‌تواند نشان‌دهنده استفاده از معادن سروزیت باشد.

با توجه به جدول ۱، رابینو مقدار خلوص نقره سکه‌های ضرابخانه‌های 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 آزمایش‌گذاران قرآن‌های کرمان در تمامی تاریخ‌های ضرب، روند تغییرات میزان خلوص نقره را در سه بازه

زمانی بین سال‌های ۱۲۶۵-۱۲۷۲ ه.ق با میانگین ۹۰,۰۹٪، بین سال‌های ۱۲۷۷-۱۲۸۸ ه.ق با میانگین ۸۶,۵۳٪ و بین سال‌های ۱۲۹۰-۱۲۹۵ ه.ق با میانگین ۸۴,۱۷٪ تبیین ساخته و میانگین خلوص نقره سکه‌های ضرب‌شده در این دوره را ۸۷,۱۶٪ محاسبه نموده است (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل ۴- میزان خلوص نقره سکه‌های ضربخانه‌های اصلی در مقابل ضربخانه کرمان (نگارندگان)

Figure 4: The purity of silver coins of the main mints in front of the Kerman Mint (authors)

۹. نتیجه

با توجه به نتایج آزمایش پیکسی، عنصر نقره به همراه عناصر مس و آهن، فلزات اصلی برای تحلیل قدرت اقتصادی شهر کرمان در عصر ناصری، قرار گرفت که مقادیر خلوص آنها در سه دوره، تغییرات عمده‌ای داشته است؛ به شرح زیر:

- ۱- ۱۲۶۵-۱۲۷۲ ه.ق: نقره (۹۰,۰۹٪)، مس (۵,۹۷٪) و آهن (۱,۶۲٪)
- ۲- ۱۲۷۷-۱۲۸۸ ه.ق: نقره (۸۶,۵۳٪)، مس (۸,۰۴٪) و آهن (۳,۱۸٪)
- ۳- ۱۲۹۰-۱۲۹۵ ه.ق: نقره (۸۴,۱۷٪)، مس (۹,۳۲٪) و آهن (۴,۳۰٪)
- ۴- میانگین کل دوران: نقره (۸۷,۱۶٪)، مس (۷,۶۵٪) و آهن (۲,۹۲٪)

هرچند که مقدار خلوص نقره سکه‌های ضرب کرمان در سه دوره کاهش یافته و دستخوش تغییرات شده، اما عیار نقره با میانگین ۸۷,۱۶٪ در دوران ضرب 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٪، بسیار بالا بوده و این به صورت عمومی نشان‌دهنده رونق و قدرت اقتصادی شهر کرمان 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 ۷,۶۵٪ مس بوده که آمیختگی عمدی جهت عیار کردن فلز سکه را نشان می‌دهد. وجود عنصر آهن نیز هرچند به واسطه آلودگی سطح که ناشی از محیط دفن‌شدن 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 ۲,۹۲٪ 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 ۰,۸۷٪ 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 ۰,۲-۱,۵٪ و معادن گالنا کمتر از ۰,۲٪ عنصر طلا را در خود جای داده‌اند، پس در این سکه‌ها مقدار میانگین ۰,۵۴٪ طلا در ساختار آنها وجود دارد که این نیز می‌تواند نشان‌دهنده استفاده از معادن سروزیت باشد.

تشکر و قدردانی

در پایان نگارندگان بر خود لازم می‌دانند تا از جناب آقای سیدحسن سادات رضوی (مجموعه‌دار سکه‌های دوره قاجار)، جناب آقای حسین کوهستانی‌اندروزی (استادیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه بیرجند)، جناب آقای محمدحسین رضایی (استادیار گروه تاریخ و باستان‌شناسی دانشگاه شیراز) و جناب آقای سیدعلی سیدموسوی (دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد باستان‌شناسی دانشگاه نیشابور)، به جهت کمک‌های فراوانشان سپاسگزاری کنند.

پی‌نوشت‌ها

1. PIXE - Elemental Analysis
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. Micro PIXE
10. Proton-Induced X-Ray Fluorescence (PIXRF)
11. J. R. Oppenheimer
12. R. W. Dodson
13. Brookhaven National Laboratory
14. Banking in Persia
15. Ionization
16. Mega Electron Volt
17. Tandem Pelletron Accelerator
18. Mega Volt

۱۹. موتور پله‌ای (Stepper Motor) از موتورهای بدون جاروبک (Brush Electric) است. کاربرد اصلی این موتور در کنترل موقعیت و سرعت به صورت حلقه باز است. موتورهای پله‌ای از نوع AC هستند و فرمان ورودی به شکل پالس‌های الکتریکی است. وقتی ولتاژ به پایانه موتورهای DC اعمال می‌گردد، به نرمی حرکت می‌کنند. موتور پله‌ای با اعمال پالس‌های ورودی، در فواصل کوچک مشخص می‌چرخد. هر پالس محور موتور را به اندازه زاویه‌ای مشخص می‌چرخاند. موتور پله‌ای اساساً دارای دندانه‌های مغناطیسی در اطراف یک شفت مرکزی از جنس آهن می‌باشند. الکترومغناطیس‌ها به وسیله یک مدار راه‌انداز (Device Driver) خارجی یا یک ریز کنترل‌گر (Micro Controller) تغذیه می‌گردند. جهت چرخاندن شفت ابتدا به یکی از مغناطیس‌ها توان داده می‌شود که مغناطیس باعث جذب دندانه‌های دنده می‌گردد. زمانی که دندانه دنده رو به روی اولین

مغناطیس می‌ایستد، نسبت به مغناطیس بعدی دارای یک فاصله است. این به معنای آن است که در صورت روشن شدن الکترومغناطیس بعدی و خاموش شدن اولی دنده به آهستگی می‌چرخد تا دندان رو به روی مغناطیس دوم قرار گیرد. از آنجا فرایند آغاز می‌گردد. هر یک از این چرخش‌ها یک گام (Step) نامیده می‌شود، تعداد مشخصی از این گام‌ها یک دور کامل موتور را می‌سازند (دقت شود نسبت تعداد گام‌ها به دور موتور همواره یک عدد صحیح است)؛ و به این ترتیب یک موتور می‌تواند با زوایای مشخص بچرخد.

20. Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS)

۲۱. تور یکی از یکاهای غیر SI برای اندازه‌گیری فشار است و ۱ اتمسفر استاندارد برابر ۷۶۰ تور است. این یکا به گونه‌ای گزینش شده 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 یکا به یاد اوانجلیستا تورچلی (Evangelista Torricelli)، فیزیک‌دان و ریاضی‌دان ایتالیایی که اصول عملکرد فشارسنج را در ۱۶۴۴ م کشف کرد، نام‌گذاری شده است.

22. Faraday Cup

23. Full Width at Half Maximum

24. Electron Volt

25. Kilo Electron Volt

26. Square Milli Metre

27. Micro Metre

28. Nano Ampere

29. GUPIX

۳۰. عدد آووگادرو یا ثابت آووگادرو (Avogadro constant)، تعداد اتم‌ها یا مولکول‌های یک مول ماده است. این ثابت به افتخار شیمیدان ایتالیایی آمادئو آووگادرو (Amedeo Avogadro) نام‌گذاری شده است. بر طبق تعریف اولیه، به تعداد اتم‌های ۱۲ گرم کربن با ایزوتوپ ^{12}C گفته می‌شود و این مقدار دقیقاً برابر است با تعداد اتم‌ها یا مولکول‌ها در یک مقدار ماده که آن را مول می‌نامیم.

31. Calibration

32. Cerussite

33. Galena

منابع

اسماعیل‌زاده کیوی، سینا. (۱۳۹۲). «مطالعه اشیای مکشوفه از بافت تاریخی اردبیل و محوطه تاریخی مجموعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی با روش گسیل پرتو ایکس با تابش پروتون (PIXE)». پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، اردبیل: دانشکده علوم 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 ۱۷(۱): صص. ۱۷-۲۸.

خادمی‌ندوشن، فرهنگ؛ محقق، مریم؛ هژبری‌نوبری، علیرضا؛ و مسجدی‌خاک، پرستو. (۱۳۹۴). «بررسی اوضاع سیاسی-اقتصادی حکومت اشکانیان در سال‌های ۵۷-۲ ق.م (دوران پادشاهی ارد دوم و فرهاد چهارم) بر اساس ترکیبات شیمیایی سکه‌های نقره با روش آزمایشگاهی PIXE». *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*. شماره ۸: صص. ۵۳-۶۶.

کیان‌زادگان، سوسن. (۱۳۹۷). «تحلیل قدرت اقتصادی در دوره پیروز ساسانی به کمک آزمایش PIXE: مطالعه موردی سکه‌های مکشوفه از پیروزگت (چابهار، بلوچستان ایران)». پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، مشهد: دانشکده ادبیات و علوم انسانی 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 کشف شده از روستای تیس چابهار». *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*. شماره ۲۲: صص. ۱۸۱-۱۹۶.

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

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

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

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

Reference

- 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(2): pp. 136-138.
- 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*. vol. 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*. vol. 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, A.; 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*. vol. 34(4): pp. 376-380.
- Esmailzadeh Kivi, S. 2013. "Study of the Artifacts Excavated from Historical Texture of Ardabil and Historical Site of Sheikh Safi al-Din Shrine in Ardabil by the Proton Induced X-Ray Emission (PIXE) Method". M.A. Dissertation. Ardabil: University of Mohaghegh Ardabili, Faculty of Science (unpublished). [in Persian].
- Farahbakhsh, H. 2006. *Iranian Hammered Coinage*. 3rd publication. Tehran: Farahbakhsh. [in Persian].
- Flament, C. & Marchetti, P. 2004. "Analysis of ancient silver coins". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. vol. 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*. vol. 35(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(2): pp. 181-188.
- Harbottle, G. 1986. "Twenty-five years of research in the analysis of archaeological artifacts and works of art". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B Beam Interactions with Materials and Atoms*. vol. 14(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(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*. vol. 34(2): pp. 209-216.
- Johansson, S. A. E.; & Johansson, T. 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*. vol. 137(3): pp. 473-516.
- Johansson, T.; Akselsson, R.; & Johansson, S. 1970. "X-Ray Analysis: Elemental Trace Analysis at the 10^{-12} g Level". *Nuclear Instruments and Methods*. vol. 84(1): pp. 141-143.
- Khademi Nadooshan, F.; Mohaghegh, M.; Hojabri Nobari, A. R.; & Masjedi Khak, P. 2015. "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". *Pazhoheshha-ye Bastan shenasi Iran*. no. 8: pp. 53-66. [in Persian].
- Kianzadegan, S. 2018. "An Analysis of Iran's Economic Power During the Reign of Sasanian Peroz I with the Help of the PIXE Experiment: the Case Study of the Coins Unearthed in Perozgat (Chabahar, Balouchestan's Iran)". M.A. Dissertation. Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Letters and Human Sciences (unpublished). [in Persian].
- Kianzadegan, S.; Rajaei, S. J.; Masjedi Khak, P.; & Saadat Mehr, M. A. 2019. "Elemental Analysis of Peruz, the Sassanid King, Coins by Using PIXE Technique, A Case Study of Peruzgat Treasure Coins, Discovered in Tis Village, Chabahar". *Pazhoheshha-ye Bastan Shenasi Iran*. no. 22: pp. 181-196. [in Persian].
- Lamehi Racht, M. 2003. "The Role of Elemental Analysis in Archaeometry: Analysis of the Van de Graaff Lab". in Azarnoush, M. ed. *Proceedings of the First Iranian Archaeometric Conference: The Role of Basic Sciences in Archeology*. Tehran: National Heritage Organization (Institute of Archeology). pp. 75-92. [in Persian].
- Lamehi Racht, M.; Shokoohi, F.; & Oliyai, P. 2002. "Introduction of External PIXE Method in Composite and Old Paper Analysis". *Name-ye Baharestan*. vol. 2(6). pp. 431-436. [in Persian].
- Landor, A. H. S. 1902. *Across Coveted Lands*. vol. 1, London: Charles Scribners Son.
- Matthee, R.; Floor, W.; & Clawson, P. 2017. *The Monetary History of Iran: From the Safavids to the Qajars*. tr. Abbasi, J. Tehran: Naamak. [in Persian].
- 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*. vol. 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.
- Michael, T. 2015. *Standard Catalog of World Coins 1801-1900*. 8th Edition. Iola: Krause Publications.
- Mochiri, M. I. 1977. *Etude de Numismatique Iranienne Sous les Sassanides et Arabes-Sassanides*. tome 2. Tehran: Ministere de la Culture et des Arts.
- Oliyai, P.; Afarideh, H.; & Agha Aligol, D. 2015. "Statistical Study of the Achaemenid, Parthian and Sassanid Silver Coins Using Elemental Analysis by PIXE Technique". *Journal of Archaeological Studies*. vol. 7(1): pp. 17-28. [in Persian].

- Rabino, J. 1892. "Banking in Persia". *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*. vol. 227(4): pp. 584-590.
- Roumié, M.; Reynolds, P.; Atallah, C.; Bakraji, E.; Zahraman, K.; & Nsoulia, B. 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*. vol. 249(1-2): pp. 612-615.
- Shariff, A.; Bulow, K.; Elfman, M.; Kristiansson, P.; Malmqvist, K.; & Pallon, J. 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*. vol. 189(1-4): pp. 131-137.