

تجزیه و تحلیل ریزساختار ناخالصی در سکه های زرین ایلخانی (مطالعه موردی سه عدد سکه زرین ابوسعید بهادر)

اریب نظریان^۱، محمد مرتضایی^۲، آرمان شیشه گر^۳، رضا شعبانی صمغ آبادی^۴

۱. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه تاریخ و باستان شناسی، تهران، ایران.
۲. پژوهشکده باستان شناسی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران.
۳. پژوهشکده باستان شناسی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران.
۴. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه تاریخ و باستان شناسی، تهران، ایران.

<http://dx.doi.org/10.61882/kcr.8.2.101>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۳

چکیده

سکه های طلا از مهم ترین مواد باستان شناختی است که از دوران تاریخی در مناطق مختلف ایران ضرب شده اند. با مطالعات روشمند ساختار بیرونی و درونی سکه ها، علاوه بر احراز هویت تاریخی و تعیین اصالت، در زمینه ی کاربرد رویکردهای تحلیلی در رفع ابهامات اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی و سیاسی دوره های مختلف تاریخی اهمیت فراوانی دارد. در این پژوهش، سه عدد سکه ی طلا از ضرابخانه های مختلف از مجموعه سکه های زرین سلطان ابوسعید بهادر، فرمانروای ایلخانی، موجود در مخزن موزه ملی مورد مطالعه باستان شناختی و باستان سنجی قرار گرفت. در گام نخست، با هدف دسترسی به مستندات احراز هویت و شناسایی عناصر تشکیل دهنده سطح بیرونی، مراحل مستندنگاری و خوانش نقوش و خطنگاره ها و توزین و اندازه گیری قطر سکه ها انجام شد. در گام بعدی و در مهم ترین مرحله پژوهش، به منظور شناسایی ساختار درونی سکه های مورد مطالعه، آنالیز عنصری فلز سکه به منظور شناسایی ساختار متالورژیکی سکه ها انجام شد. در این مرحله بر روی نمونه ها آزمایش غیرمخرب پیکسی انجام شد. این آزمایش روشی غیرمخرب با حساسیت تحلیلی بالا و همچنین ابزاری علمی، دقیق و کاربردی برای تجزیه و تحلیل سکه های تاریخی می باشد. آنالیز با کاربرد شتاب دهنده و اندوگراف پژوهشکده فیزیک و شتابگرها در آزمایشگاه انرژی اتمی ایران انجام شد. پس از دستیابی به داده های ریزساختار اصلی، از آنجا که درصد ناخالصی نقش مهمی در تعیین عیار سکه های طلا دارد، بنابراین با هدف تعیین میزان خلوص، با تمرکز بر داده های ریزساختار ناخالصی، درجه خلوص و تغییرات عیاری در هر سه سکه با کاربرد روش آمار تحلیلی - استنباطی و بهره گیری از نرم افزار SPSS مدل واریانس یک طرفه داده ها استخراج و به منظور دقت بالا در نتایج حاصله، تفاوت در شاخص های توصیفی با انجام آزمون توکی داده های به دست آمده آزمایش گردید.

واژگان کلیدی: سکه زرین، ایلخانی، آزمایش PIXE، ریزساختار.



فصل نامه دانش حفاظت و مرمت

شاپا چاپی: ۶۰۹۳-۲۵۳۸
شاپا الکترونیکی: ۳۰۶۰-۶۲۱۷

سال هشتم، شماره دوم
شماره پیاپی ۲۴، تابستان ۱۴۰۴
صفحات: ۱۱۵-۱۰۱

<https://kcr.richt.ir>

نویسنده مسئول: محمد مرتضایی

پژوهشکده باستان شناسی، پژوهشگاه میراث
فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران.

رایانامه:
m_mortezayi2008@yahoo.com



۱. مقدمه

در این پژوهش باستان‌شناسی تلاش بر این است که تعداد سه نمونه سکه از مجموعه‌ای صد و پنج عددی از سکه‌های زرین ابوسعید بهادر فرمانروای ایلخانی مکشوفه از مسجد جامع تبریز، موجود در مخزن موزه ملی، مورد مطالعات دقیق و روشمند میدانی، آزمایشگاهی و باستان‌سنجی قرار گیرند. بدین منظور، برای احراز هویت تاریخی نمونه‌های مورد مطالعه ابتدا سطح خارجی سکه با انجام مراحل مستندسازی شامل توزین و اندازه‌گیری ابعاد و عکاسی مورد مطالعات میدانی قرار گرفت (احمدی فر، ۱۳۷۹: ۴۵)؛ و با هدف دستیابی به اطلاعات ضرابخانه و شناسایی نقوش و خطنگاره خوانش گردید (نظریان و دیگران، ۱۴۰۲: ۲۴۷). سپس با بررسی روشمند، آزمایش تجزیه عنصری برای دستیابی به داده‌های ریز ساختار و ترکیب شیمیایی آن‌ها انجام شد. در دومین مرحله و مهم‌ترین مرحله پژوهش، از آنجا که آنالیز عنصری سکه و شناسایی ریز ساختار سازنده فلز سکه با کاربرد روش‌های آزمایشگاهی غیرمخرب که آزمایش ابزار علمی دارای اهمیت است، روش آزمایش پیکسی ابزاری قدرتمند برای تشخیص ترکیب عنصری، ناخالصی و ریز ساختارها است، با کاربرد آن داده‌های بسیار با اهمیت در مورد ترکیب

عناصر اصلی و کمیاب و ناخالصی حاصل می‌آید؛ سؤال اول برای انجام آزمایش این بود که میزان ریز ساختار فرعی و ناخالصی در تعیین عیار و خلوص فلز اصلی تا چه میزان تأثیرگذار است؛ سؤال دوم این است که آیا سکه‌های مورد آزمایش دارای ترکیبی متالورژیکی نسبتاً همگن و کنترل شده هستند یا خیر؛ برای دستیابی به ترکیب شیمیایی و شناسایی ریز ساختار، آنالیز عنصری به بهره‌گیری از روش پیکسی که روشی غیرمخرب با حساسیت تحلیلی بالا است، انجام شد؛ بنابراین سه نمونه سکه با کاربرد شتاب‌دهنده و اندوگراف پژوهشکده فیزیک و شتابگرها در آزمایشگاه انرژی اتمی ایران مورد آزمایش گسیل اشعه ایکس ناشی از پروتون (PIXE) قرار گرفتند؛ پس از دستیابی به داده‌های حاصل از آزمایش، آنالیز عنصری و تشخیص علمی عناصر اصلی و فرعی، ریز ساختارها و ناخالصی موجود در فلز اصلی مورد تجزیه و تحلیل کمی قرار گرفته و سپس عناصر ناخالصی با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS و آمار تحلیلی و استنباطی داده‌ها استخراج گردید (نیکنامی، کمال‌الدین، ۱۳۹۵: ۲۶-۵۷)؛ به منظور دقت بالا در نتایج، تفاوت در شاخص‌های توصیفی با انجام تست تعقیبی نظیر آزمون توکی، نتایج به دست آمده آزمایش گردید؛ نتایج به دست آمده بر اساس داده‌های غلظت ناخالصی می‌باشد.

۲. پیشینه تحقیق

تا سال ۱۹۰۸ در تحلیل عناصر سکه، اغلب تجزیه و تحلیل عناصر اصلی فلز دارای اهمیت بود؛ در ۱۹۱۲، متالوگرافی و تشخیص ریزساختارها در مطالعه سکه‌های رومی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت (Matthew, Ponting, 2012: 12-30)؛ از دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ با روش‌های مختلف آزمایشگاهی اعم از مخرب و غیرمخرب، تجزیه عنصری سکه‌های باستانی در مطالعات باستان‌شناسی کاربرد دارد (Gordus, 1970: 165-174)؛ گسیل اشعه ایکس ناشی از پروتون یا پیکسی به عنوان یک روش سطحی غیرمخرب در تعیین عیار و ناخالصی در سکه‌های باستانی ایران همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است (Moreno-Suárez B, 2015: 93-97)؛ تحقیق بر روی سکه‌های تاریخی ایران توسط محققان پیشگام در زمینه آنالیز ترکیبات عنصری در فلزات باستانی نظیر سکه‌ها (Gordus, 1972: 165-178) انجام شد؛ آنالیز ساختار سکه‌های تاریخی و اسلامی در دهه‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران ایرانی قرار گرفته است (اولیایی و دیگران، ۱۳۹۴)؛ بررسی و تجزیه سنگ معدن و مقایسه نتایج آن با آنالیزهای به‌دست آمده از اشیای فلزی، می‌توان قسمتی از وضعیت فلزگری گذشته و نیز ارتباطات منطقه‌ای را مشخص نمود (Gitler, 2006: 319-32)؛ در زمینه مقایسه تطبیقی ترکیب عنصری، مطالعات علمی دقیقی در زمینه مکانیابی ضرابخانه‌ها انجام شده است (Gitler; Goren; Konuk; Tal;) (Alfen; Weisburd, 2020: 379-422).

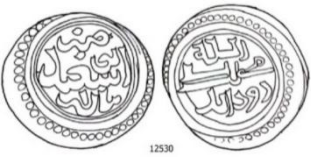
۳. مواد و روش‌ها

سکه‌های مورد مطالعه مربوط به دوران حکومت ابوسعید بهادر فرمانروای ایلخانی (از ۷۱۶ تا ۷۳۶ ه. ق) است؛ تاریخ ضرب شده بر روی سکه‌ها م ۷۲۴-۷۲۹ ه. ق. را نشان می‌دهد؛ در توزین سکه‌ها مشخص شد که آن‌ها خارج از یک استاندارد وزن معمول این دوران تاریخی (۳.۸۷ گرم) ضرب شده‌اند (Blair, 1983: 295-317)؛ مطالعات سطح بیرونی نشان می‌دهد که سکه‌ها در گروه سکه با نقش هندسی قرار می‌گیرند؛ دو نمونه مورد آزمایش (شماره ثبت ۱۲۵۳۰ و ۱۲۵۴۶) در گروه سکه با نقش هندسی با فرم رایج دایره

و مربع در دایره قرار می‌گیرند؛ نمونه سوم (شماره ثبت ۱۲۵۴۴) نقش ساختار بیرونی سکه در یک حرکت نوآورانه دورتادور سکه یک آیه قرآنی است؛ آیه ۱۳۷ سوره دوم (که در قابی محراب‌گون قرار دارد و روی این سکه با تأکید بر مذهب نام چهار خلیفه سنی نگاشته شده است)؛ پشت سکه هشت ضلعی هندسی ترسیم گردیده که عبارتی قرآنی (النصر من الله) حلقه‌ها را پر می‌کند؛ مضامین خط نگاره‌ها بر پیروزی بر دشمن اشاره دارد که بر اساس منابع تاریخی در آن زمان ابوسعید در حال جنگ با فرمانده ارتش خود، امیر چوپان، است (Blair, 1992: 224)؛ در جدول شماره ۱ اطلاعات مربوط به دوره ضرب سه سکه به‌عنوان نمونه مورد مطالعه شامل محل ضرب سکه‌ها، تاریخ ضرب، وزن، تصاویر و طرح‌های مربوط به سکه‌ها ارائه شده است.

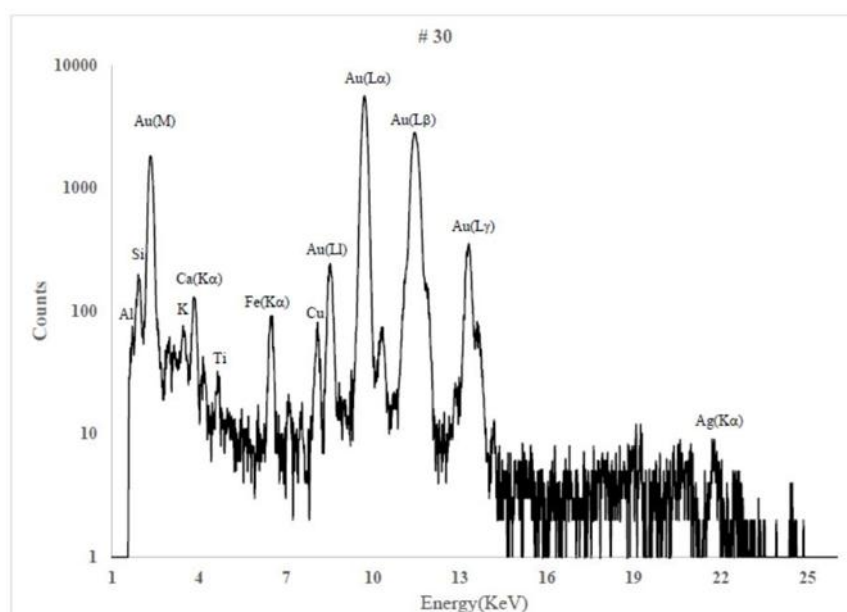
جدول ۱: شکل، طرح و مشخصات سکه‌های مورد مطالعه.

Table 1. Form, Design, and Specifications of the Studied Coins.

شماره ثبت	وزن	قطر	سال ضرب	مکان ضرب	طرح	تصویر
12530	1/4	12.0	؟	بازار		
12544	4/0	23.0	729	بازار		
12546	7/9	22.0	724	تبریز		

در مطالعات ساختار درونی، سه عدد سکه مورد آزمایش تجزیه عنصری به روش پیکسی قرار گرفته است؛ با توجه به اینکه درصد ناخالصی نقش مهمی در تعیین عیار سکه‌های طلا دارد، ابتدا میزان درصد خلوص عناصر فلزی این سکه‌ها آنالیز گشته و نتایج حاصله براساس داده‌هایی مبنی بر درجه غلظت ناخالصی‌های ناشی از عناصر فلزی موجود در این سکه‌ها، در تحلیل‌های آماری تغییرات عیاری سکه‌های سه ضرابخانه مختلف مورد توجه قرار گرفته است؛ PIXE از گسیل اشعه ایکس ناشی از پروتون چند عنصری غیرمخرب با دقت بسیار بالا از پرتوهایی با اندازه نفوذ میکرومتر استفاده می‌کند (Mommensen & Schmittinger, 1981: 7) و بنابراین امکان تجزیه و تحلیل جزئیات بسیار کوچک و ریزساختار را فراهم می‌آورد؛ به منظور ارزیابی سهم ناخالصی و ریزساختار، با توجه به اینکه در آزمایش تجزیه عنصری به روش پیکسی در شرایط مناسب، حداقل غلظت قابل تشخیص با استفاده از این روش بین ۰/۱۰ ppm تا ۰/۱۱ ppm است، با استفاده از آزمایش پیکسی می‌توان دامنه گسترده‌ای از عناصر را از سدیم تا اورانیوم شناسایی کرد (Biswas et al., 2022: 12)؛ عیب عمده آن، مانند روش فلورسانس اشعه ایکس، آنالیز سطحی است، که سکه‌های دارای خوردگی

به‌ویژه در مورد سکه‌های مسی یا برنزی می‌توانند مورد آسیب قرار بگیرند؛ برای تجزیه و تحلیل PIXE با انرژی پروتون بین ۱ تا ۳ مگا الکترون ولت، عمق تحلیلی قابل دستیابی حدود ۷۰ میکرومتر است که همیشه به ترکیب سکه و عدد اتمی عناصر شناسایی شده بستگی دارد و در مقایسه با XRF کمتر است (تا ~ 100 میکرومتر)؛ استفاده از PIXE با انرژی بالا منجر به عمق قابل تجزیه و تحلیل بیشتر در چندین میلی‌متر می‌شود (Beck, 2005; Ferreira & Gil, 1981)؛ البته ناهمگونی در نمونه‌های مورد مطالعه باعث عدم قطعیت در آزمایش تجزیه عنصری می‌گردد (Gitler, 2006: 2)؛ در آنالیز نمونه‌ها، داده‌های عناصر اصلی و عناصر فرعی تجزیه گردید که عناصر Fe; Ni; Cu; Ag; Au; Al; Si; K; Ca; Ti در سکه‌ها بنابر نوع عنصر با دقت ۱۰–۱۰۰ ppm مشخص گردید؛ بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده، ریزساختار اصلی در سکه‌های مورد آزمایش طلا است، که بر اساس تحلیل داده‌های موجود، میانگین بیشترین درصد ریزساختار طلا ۹۵/۳۲ مربوط به سکه‌ی شماره ۴۶ ضرب تبریز و کمترین میانگین ریزساختار طلا با ۸۸/۲ در سکه‌ی شماره ۴۴ ضرب بازار ۱؛ همچنین بالاترین میزان ریزساختار ناخالصی مربوط به فلز نقره با مقدار ۸/۳۸ می‌باشد.



شکل ۱: نمودار انرژی (KeV) ترسیم توسط آزمایشگاه سازمان انرژی اتمی ایران.

Figure 1: Energy Diagram (KeV), prepared by the Laboratory of the Atomic Energy Organization of Iran.

جدول ۲: درصد غلظت ریز ساختار موجود در سکه های طلای مورد مطالعه.

Table 2: Percentage Concentration of the Microstructural Components in the Studied Gold Coins.

Sample	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Ni	Cu	Ag	Au
۴۶	۰.۶۸	۰.۹۸	۰.۲	۰.۵۸	۰.۰۲	۰.۱۳	۰.۰۱	۰.۱۶	۱.۹۲	۹۵.۳۲
۴۴	۰.۶	۱.۳	۰.۱۷	۰.۸۲	۰.۰۰	۰.۱۸	۰.۰۱	۰.۳۴	۸.۴۸	۸۸.۲
۳۰	۰.۶۷	۱.۲۶	۰.۲۱	۰.۴۱	۰.۰۵	۰.۱۸	۰.۰۱	۰.۱۴	۴.۶۹	۹۲.۳۸

۴. آمار توصیفی

شاخص‌های توصیفی درصد عنصر طلا در سه نوع سکه در جدول ۳ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود سکه ضرب تبریز و ضرب بازار ۱ به ترتیب با میانگین ۹۵/۴۱ و ۸۸/۲۰ دارای بیشترین و کمترین درصد عنصر طلا گزارش می‌شوند. همچنین بیشترین میزان تغییرپذیری در میزان عنصر طلا مربوط به سکه ضرب بازار ۱ با انحراف استاندارد ۱/۵۶ و کمترین میزان تغییرپذیری مربوط به سکه ضرب تبریز با انحراف استاندارد ۰/۵۷ می‌باشد.

جدول ۳: شاخص‌های توصیفی درصد عنصر طلا در سه نوع سکه.

Table 3: Descriptive Indicators of Gold Content Percentage in the Three Types of Coins.

نوع سکه	تعداد تکرار	میانگین	انحراف استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
				حد پایین	حد بالا
سکه ضرب تبریز	۳	۹۵/۴۱	۰/۵۷	۹۴/۰۰	۹۶/۸۱
سکه ضرب بازار ۱	۳	۸۸/۲۰	۱/۵۶	۸۴/۳۲	۹۲/۰۷
سکه ضرب بازار ۲	۳	۹۲/۳۱	۱/۵۱	۸۸/۵۶	۹۶/۰۷
کل	۹	۹۱/۹۷	۳/۳۳	۸۹/۴۲	۹۴/۵۳

جدول ۴: شاخص‌های توصیفی درصد عنصر نقره در سه نوع سکه.

Table 4: Descriptive Indicators of Silver Content Percentage in the Three Types of Coins.

نوع سکه	تعداد تکرار	میانگین	انحراف استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
				حد پایین	حد بالا
سکه ضرب تبریز	۳	۱/۸۹	۰/۲۹	۱/۱۶	۲/۶۱
سکه ضرب بازار ۱	۳	۸/۳۶	۱/۱۲	۵/۵۹	۱۱/۱۴
سکه ضرب بازار ۲	۳	۴/۷۶	۱/۰۹	۲/۰۴	۷/۴۸
کل	۹	۵/۰۰	۲/۹۲	۲/۷۶	۷/۲۵

همان‌طور که مشاهده می‌شود، سکه ضرب بازار ۱ و ضرب تبریز به ترتیب با میانگین ۳۶/۸ و ۸۹/۱ دارای کمترین و بیشترین درصد ریزساختار ناخالصی نقره گزارش می‌شوند؛ همچنین بیشترین میزان تغییرپذیری در میزان عنصر نقره مربوط به سکه ضرب بازار ۱ با انحراف استاندارد ۱۲/۱ و کمترین میزان تغییرپذیری مربوط به سکه ضرب تبریز با انحراف استاندارد ۰/۲۹ می‌باشد (نگارنده و دیگران، ۱۴۰۲: ۲۵۰-۲۵۲)؛

از نظر شاخص‌های توصیفی، درصد ریزساختار ناخالصی مس در سه نوع سکه در جدول ۵ آمده است؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود، سکه ضرب بازار ۱ و ضرب بازار ۲ به ترتیب با میانگین ۰/۳۴۷ و ۰/۱۴۰ دارای بیشترین و کمترین درصد عنصر مس گزارش می‌شوند؛ همچنین بیشترین میزان تغییرپذیری در میزان ریزساختار ناخالصی مس مربوط به سکه ضرب بازار ۱ با انحراف استاندارد ۰/۹۶ و کمترین میزان تغییرپذیری مربوط به سکه ضرب بازار ۲ با انحراف استاندارد ۰/۲۳ می‌باشد.

جدول ۵: شاخص‌های توصیفی درصد عنصر مس در سه نوع سکه.

Table 5: Descriptive Indicators of Copper Content Percentage in the Three Types of Coins.

نوع سکه	تعداد تکرار	میانگین	انحراف استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
				حد پایین	حد بالا
سکه ضرب تبریز	۳	۰/۱۵۷	۰/۰۲۸	۰/۰۸۶	۰/۲۲۷
سکه ضرب بازار ۱	۳	۰/۳۴۷	۰/۰۹۶	۰/۱۰۸	۰/۵۸۵
سکه ضرب بازار ۲	۳	۰/۱۴۰	۰/۰۲۳	۰/۰۸۳	۰/۱۹۷
کل	۹	۰/۲۱۴	۰/۱۱۲	۰/۱۲۸	۰/۳۰۱

شاخص‌های توصیفی درصد ریز ساختار ناخالصی تیتانیوم در سه نوع سکه سکه ضرب بازار ۲ و ضرب بازار ۱ به ترتیب با میانگین ۰/۰۵۰ و ۰/۰۰۸ دارای بیشترین و کمترین درصد عنصر تیتانیوم گزارش می‌شوند. همچنین بیشترین میزان تغییرپذیری در میزان ریزساختار تیتانیوم مربوط به سکه ضرب بازار ۲ با انحراف استاندارد ۰/۰۱۴ و کمترین میزان تغییرپذیری مربوط به سکه ضرب تبریز با انحراف استاندارد ۰/۰۰۱ می‌باشد.

جدول ۶: شاخص‌های توصیفی درصد عنصر تیتانیوم در سه نوع سکه.

Table 6: Descriptive Indicators of Titanium Content Percentage in the Three Types of Coins.

نوع سکه	تعداد تکرار	میانگین	انحراف استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
				حد بالا	حد پایین
سکه ضرب تبریز	۳	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	۰/۰۱۷
سکه ضرب بازار ۱	۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۰۰
سکه ضرب بازار ۲	۳	۰/۰۵۰	۰/۰۱۴	۰/۰۸۴	۰/۰۱۶
کل	۹	۰/۰۲۶	۰/۰۲۰	۰/۰۴۲	۰/۰۱۰

شاخص‌های توصیفی درصد ریزساختار ناخالصی آهن در سه نوع سکه در جدول ۷ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود سکه ضرب ضرب بازار ۱ و تبریز به ترتیب با میانگین ۰/۱۸۳ و ۰/۱۳۰ دارای بیشترین و کمترین درصد عنصر آهن گزارش می‌شوند. همچنین بیشترین میزان تغییرپذیری در میزان عنصر آهن مربوط به سکه ضرب بازار ۱ با انحراف استاندارد ۰/۰۴۸ و کمترین میزان تغییرپذیری مربوط به سکه ضرب بازار ۲ با انحراف استاندارد ۰/۰۲۴ می‌باشد.

جدول ۷: شاخص‌های توصیفی درصد عنصر آهن در سه نوع سکه.

Table 7: Descriptive Indicators of Iron Content Percentage in the Three Types of Coins.

نوع سکه	تعداد تکرار	میانگین	انحراف استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
				حد بالا	حد پایین
سکه ضرب تبریز	۳	۰/۱۳۰	۰/۰۳۳	۰/۲۱۱	۰/۰۴۹
سکه ضرب بازار ۱	۳	۰/۱۸۳	۰/۰۴۸	۰/۳۰۳	۰/۰۶۴
سکه ضرب بازار ۲	۳	۰/۱۸۰	۰/۰۲۴	۰/۲۳۹	۰/۱۲۱
کل	۹	۰/۱۶۴	۰/۰۴۱	۰/۱۹۶	۰/۱۳۳

همانطور که مشاهده می‌شود سکه ضرب ضرب بازار ۱ و ضرب تبریز به ترتیب با میانگین ۰/۳۰۳ و ۰/۱۸۰ دارای بیشترین و کمترین درصد ریزساختار ناخالصی سیلیسیم گزارش می‌شوند. همچنین بیشترین میزان تغییرپذیری در میزان عنصر سیلیسیم مربوط به سکه ضرب بازار ۲ با انحراف استاندارد ۰/۱۲۶ و کمترین میزان تغییرپذیری مربوط به سکه ضرب تبریز با انحراف استاندارد ۰/۰۳۰ می‌باشد.

جدول ۸: شاخص‌های توصیفی درصد عنصر سیلیسیم در سه نوع سکه.

Table 8: Descriptive Indicators of Silicon Content Percentage in the Three Types of Coins.

نوع سکه	تعداد تکرار	میانگین	انحراف استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
				حد بالا	حد پایین
سکه ضرب تبریز	۳	۰/۹۸۰	۰/۰۳۰	۱/۰۵۴	۰/۹۰۵
سکه ضرب بازار ۱	۳	۱/۳۰۳	۰/۱۱۸	۱/۵۹۷	۱/۰۱۰
سکه ضرب بازار ۲	۳	۱/۲۶۰	۰/۱۲۶	۱/۵۷۳	۰/۹۴۷
کل	۹	۱/۱۸۱	۰/۱۷۵	۱/۳۱۶	۱/۰۴۶

شاخص‌های توصیفی درصد ریز ساختار ناخالصی آلومینیوم در سه نوع سکه ضرب تبریز و ضرب بازار ۱ سکه ضرب تبریز و ضرب بازار ۱ به ترتیب با میانگین درصد آلومینیوم ۰/۶۷۵ و ۰/۵۸۷ دارای بیشترین و کمترین میانگین درصد عنصر آلومینیوم گزارش می‌شوند. همچنین بیشترین میزان تغییرپذیری در میزان عنصر آلومینیوم مربوط به سکه ضرب بازار ۲ با انحراف استاندارد ۰/۱۲۹ و کمترین میزان تغییرپذیری مربوط به سکه ضرب بازار ۱ با انحراف استاندارد ۰/۰۳۳ می‌باشد.

جدول ۹: شاخص‌های توصیفی درصد عنصر آلومینیوم در سه نوع سکه.

Table 9: Descriptive Indicators of Aluminum Content Percentage in the Three Types of Coins.

نوع سکه	تعداد تکرار	میانگین	انحراف استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
				حد بالا	حد پایین
سکه ضرب تبریز	۳	۰/۶۷۵	۰/۱۰۶	۰/۹۳۹	۰/۴۱۱
سکه ضرب بازار ۱	۳	۰/۵۸۷	۰/۰۳۳	۰/۶۶۸	۰/۵۰۵
سکه ضرب بازار ۲	۳	۰/۶۶۰	۰/۱۲۹	۰/۹۸۱	۰/۳۳۹
کل	۹	۰/۶۴۰	۰/۰۹۵	۰/۷۱۳	۰/۵۶۸

۵. آمار استنباطی

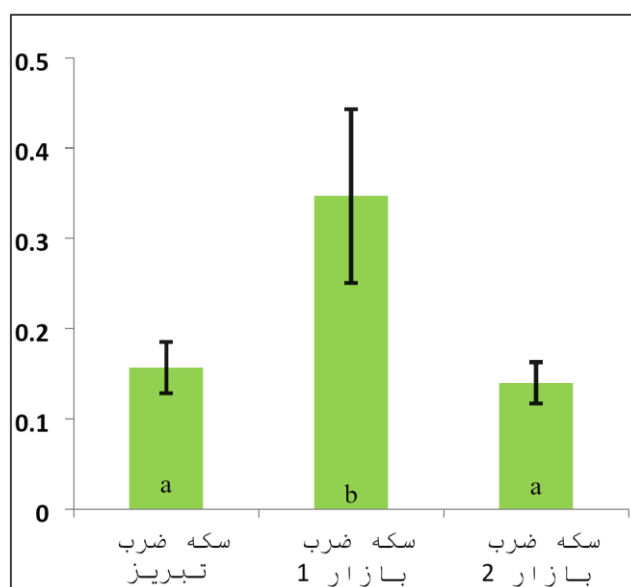
برای دستیابی به نتایج حاصل از آزمایش و آنالیز عنصری سکه‌های مورد مطالعه پس از تحلیل اماری و دستیابی به شاخص‌های توصیفی با کاربرد نرم افزار SPSS آمار استنباطی و واریانس یکطرفه از مون و خطای داده‌ها انجام شد که نتایج زیر حاصل گردید:

از تحلیل واریانس یک طرفه برای بررسی درصد عنصر مس انجام پیش فرض همگنی واریانس‌های استفاده گردید و در مرحله از مون داده‌ها، برای آزمون همگنی واریانس‌ها از آزمون لیونز استفاده شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. بنابراین در ابتدا به بررسی آزمون همگنی واریانس‌های خطا می‌پردازیم. از نظر درصد عنصر مس در سطح معناداری ۵ درصد سکه‌های ضرب تبریز و بازار ۲ در یک گروه و سکه ضرب بازار ۱ در گروه دیگر قرار می‌گیرند. شکل ۱ به خوبی این موضوع را نشان می‌دهد. درصد عنصر مس موجود در سه نوع سکه متفاوت می‌باشد. براساس مقدار آماره‌ی لیونز ($p > 0.05$) آزمون فرضیه همگنی واریانس‌های خطا برای متغیر درصد عنصر مس مورد تایید قرار می‌گیرد و بنابراین واریانس‌های خطا برای متغیر وابسته در سطوح متغیر مستقل (انواع سکه) مساوی است. با توجه به مقدار آماره فیشر ۲۵/۱۱ و p -مقدار ۰/۰۹۰ فرضیه‌ی صفر یعنی برابری میانگین درصد عنصر مس در سه نوع سکه در سطح معناداری ۵ درصد رد می‌شود. به عبارت دیگر میانگین درصد عنصر مس در سه نوع سکه تفاوت معنی‌داری داشته است و فرضیه "درصد عنصر مس موجود در سه نوع سکه متفاوت می‌باشد. برای اطمینان بیشتر، با توجه به حجم کم داده‌ها از آزمون ناپارامتری کروسکال والیس نیز استفاده شد که با مقدار آماره مجذور کای ۰/۶ و p -مقدار ۰/۴۱۰ همین نتیجه حاصل شد.

جدول ۱۰: آزمون توکی برای شناسایی زیرسکه‌های همگن از نظر درصد عنصر مس.

Table 10: Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Copper Content Percentage.

نوع سکه	تعداد مشاهدات	زیر گروه‌های همگن در سطح ۵ درصد	
		1	2
سکه ضرب بازار ۲	3	140/0	
سکه ضرب تبریز	3	157/0	
سکه ضرب بازار ۱	3		347/0



شکل ۲: شماتیک آزمون توکی برای شناسایی زیر گروه‌های همگن از نظر درصد عنصر مس.

Figure 2: Schematic Representation of the Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Copper Content Percentage.

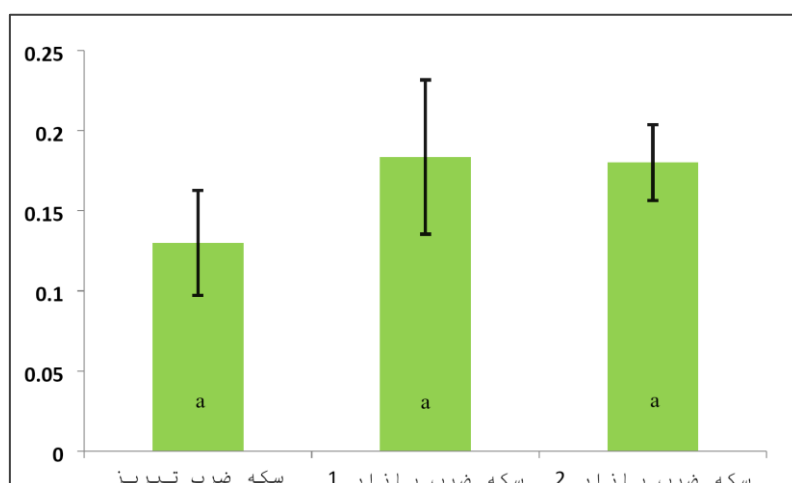
برای اینکه دریابیم درصد عنصر آهن موجود در سه نوع سکه متفاوت می‌باشد. از تحلیل واریانس یک طرفه استفاده شد. برای انجام تحلیل واریانس یک طرفه می‌باید پیش فرض همگنی واریانس‌های خطاب‌برقرار باشد. بنابراین در ابتدا به بررسی آزمون همگنی واریانس‌های خطا می‌پردازیم. براساس مقدار آماره‌ی لیونز ($p > 0.05$) آزمون فرضیه همگنی واریانس‌های خطا برای متغیر درصد عنصر آهن مورد تایید قرار می‌گیرد و بنابراین واریانس‌های خطا برای متغیر وابسته در سطوح متغیر مستقل (انواع سکه) مساویاست. با استفاده از روش تحلیل واریانس یک طرفه با توجه به مقدار آماره فیشر $2/04$ و p -مقدار $0/211$ فرضیه‌ی صفر یعنی برابری میانگین درصد عنصر آهن در سه نوع سکه در سطح معناداری 5 درصد رد نمی‌شود. به عبارت دیگر میانگین درصد عنصر آهن در سه نوع سکه تفاوت معنی‌داری نداشته است و فرضیه "درصد عنصر آهن موجود در سه نوع سکه متفاوت می‌باشد." تایید نمی‌گردد. برای اطمینان بیشتر، با توجه به حجم کم داده‌ها از آزمون ناپارامتری کروسکال والیس نیز استفاده شد که با مقدار آماره مجذور کای $29/3$ و p -مقدار $0/193$ همین نتیجه حاصل شد.

همچنین با انجام آزمون توکی که برای شناسایی زیرگروه‌های همگن مورد استفاده قرار می‌گیرد (جدول ۶) مشخص شد از نظر درصد عنصر آهن در سطح معناداری 5 درصد سکه‌های ضرب تبریز و بازار 1 و 2 در یک گروه قرار می‌گیرند. شکل ۲ به خوبی این موضوع را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱: آزمون توکی برای شناسایی زیرسکه‌های همگن از نظر درصد عنصر آهن.

Table 11: Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Iron Content Percentage.

نوع سکه	تعداد مشاهدات	زیر گروه‌های همگن در سطح 5 درصد
سکه ضرب بازار ۲	3	1
سکه ضرب تبریز	3	$0/130$
سکه ضرب بازار ۱	3	$0/180$
		$0/183$



شکل ۳: شماتیک آزمون توکی برای شناسایی زیر گروه‌های همگن از نظر درصد عنصر آهن.

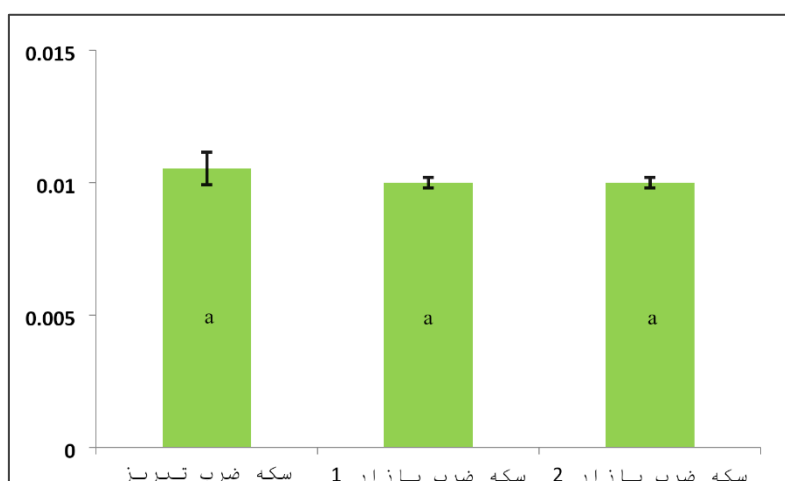
Figure 3: Schematic Representation of the Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Iron Content Percentage.

براساس مقدار آماره‌ی لیونز ($p > 0.05$) آزمون فرضیه همگنی واریانس‌های خطا برای متغیر درصد عنصر نیکل مورد تایید قرار می‌گیرد و بنابراین واریانس‌های خطا برای متغیر وابسته در سطوح متغیر مستقل (انواع سکه) مساوی است. درصد عنصر نیکل موجود در سه نوع سکه متفاوت می‌باشد. برای دستیابی به نتیجه فوق تحلیل واریانس یک طرفه انجام شد. در جدول ۱۲ اطلاعات مربوط به آزمون تحلیل واریانس یک طرفه برای بررسی درصد عنصر نیکل در سه نوع سکه آمده است. با توجه به مقدار آماره فشر $۸۸/۱$ و مقدار $p=۰/۲۳۲$ فرضیه‌ی صفر یعنی برابری میانگین درصد عنصر نیکل در سه نوع سکه در سطح معناداری ۵ درصد رد نمی‌شود. به عبارت دیگر میانگین درصد عنصر نیکل در سه نوع سکه تفاوت معنی‌داری نداشته است که تفاوت درصد عنصر نیکل موجود در سه نوع سکه تایید نگردد. برای اطمینان بیشتر، با توجه به حجم کم داده‌ها از آزمون ناپارامتری کروسکال والیس نیز استفاده شد که با مقدار آماره مجذور کای $۵۳/۲$ و $p=۰/۲۳۸$ همین نتیجه حاصل شد. همچنین با انجام آزمون توکی که برای شناسایی زیرگروه‌های همگن مورد استفاده قرار می‌گیرد از نظر درصد عنصر نیکل در سطح معناداری ۵ درصد سکه‌های ضرب تبریز و بازار ۱ و ۲ در یک گروه قرار می‌گیرند. شکل ۳ به خوبی این موضوع را نشان می‌دهد.

جدول ۱۲: آزمون توکی برای شناسایی زیرسکه‌های همگن از نظر درصد عنصر نیکل.

Table 12: Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Nickel Content Percentage.

نوع سکه	تعداد مشاهدات	زیر گروه‌های همگن در سطح ۵ درصد
سکه ضرب بازار ۲	3	1
سکه ضرب تبریز	3	۰/۰۱۰
		۰/۰۱۰
سکه ضرب بازار ۱	3	۰/۰۱۱



شکل ۴: شماتیک آزمون توکی برای شناسایی زیر گروه‌های همگن از نظر درصد عنصر نیکل.

Figure 4: Schematic Representation of the Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Nickel Content Percentage.

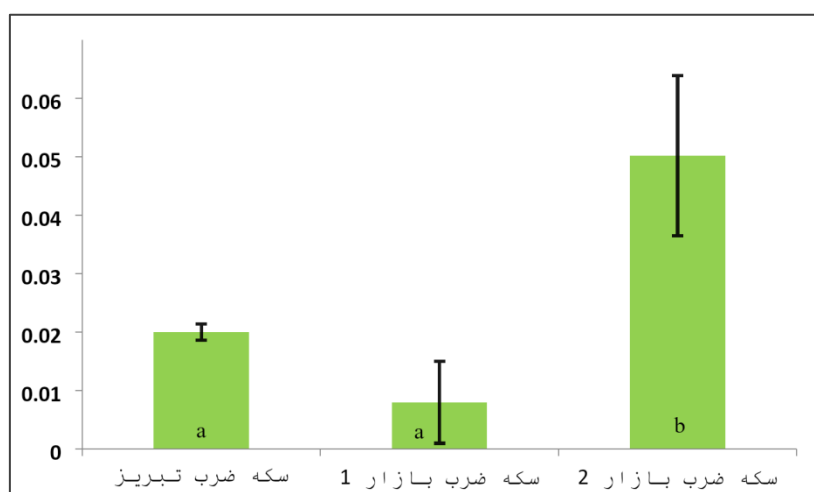
براساس مقدار آماره‌ی لیونز ($p > 0.05$) آزمون فرضیه همگنی واریانس‌های خطا برای متغیر درصد عنصر تیتانیوم مورد تایید قرار می‌گیرد و بنابراین واریانس‌های خطا برای متغیر وابسته در سطوح متغیر مستقل (انواع سکه) مساوی است. با توجه به مقدار آماره فیشر $83/17$ و p -مقدار $0/003$ فرضیه‌ی صفر یعنی برابری میانگین درصد عنصر تیتانیوم در سه نوع سکه در سطح معناداری 5% رد می‌شود. به عبارت دیگر میانگین درصد عنصر تیتانیوم در سه نوع سکه تفاوت معنی‌داری داشته است و فرضیه "درصد عنصر تیتانیوم موجود در سه نوع سکه متفاوت می‌باشد." تایید می‌گردد. برای اطمینان بیشتر، با توجه به حجم کم داده‌ها از آزمون ناپارامتری کروسکال والیس نیز استفاده شد که با مقدار آماره مجذور کای $20/7$ و p -مقدار $0/027$ همین نتیجه حاصل شد.

با انجام آزمون توکی که برای شناسایی زیرگروه‌های همگن مورد استفاده قرار می‌گیرد (جدول ۱۳) مشخص شد از نظر درصد عنصر تیتانیوم در سطح معناداری 5% درصد سکه‌های ضرب تبریز و بازار ۱ در یک گروه و سکه ضرب بازار ۲ در گروه دیگر قرار می‌گیرند. شکل ۴ به خوبی این موضوع را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳: آزمون توکی برای شناسایی زیرسکه‌های همگن از نظر درصد تیتانیوم.

Table 13: Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Titanium Content Percentage.

زیر گروه‌های همگن در سطح 5% درصد		تعداد مشاهدات	نوع سکه
2	1		
	$0/008$	3	سکه ضرب بازار ۱
	$0/020$	3	سکه ضرب تبریز
$0/050$		3	سکه ضرب بازار ۲



شکل ۵: شماتیک آزمون توکی برای شناسایی زیر گروه‌های همگن از نظر درصد عنصر تیتانیوم.

Figure 5: Schematic Representation of the Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Titanium Content Percentage.

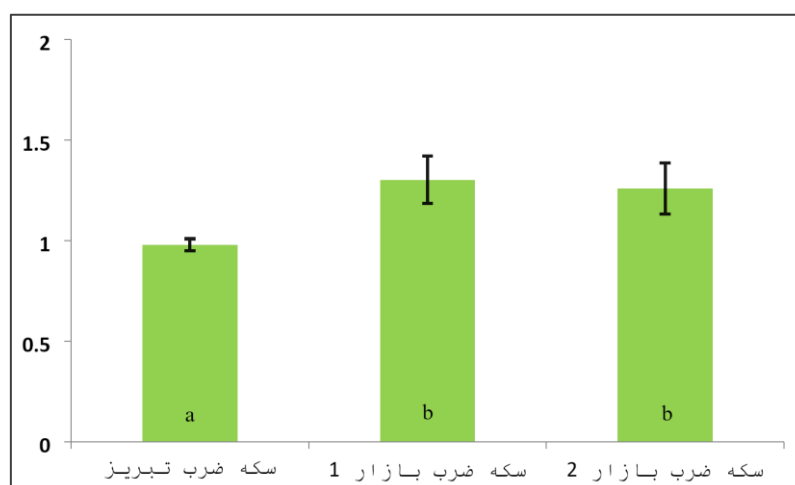
براساس مقدار آماره‌ی لیونز ($p > 0.05$) آزمون فرضیه همگنی واریانس‌های خطا برای متغیر درصد عنصر سیلیسیم مورد تایید قرار می‌گیرد و بنابراین واریانس‌های خطا برای متغیر وابسته در سطوح متغیر مستقل (انواع سکه) مساوی است. با توجه به مقدار آماره فشر $9/03$ و p -مقدار $0/016$ فرضیه‌ی صفر یعنی برابری میانگین درصد عنصر سیلیسیم در سه نوع سکه در سطح معناداری 5 درصد رد می‌شود. به عبارت دیگر میانگین درصد عنصر سیلیسیم در سه نوع سکه تفاوت معنی‌داری داشته است و فرضیه "درصد عنصر سیلیسیم موجود در سه نوع سکه متفاوت می‌باشد." تایید می‌گردد. برای اطمینان بیشتر، با توجه به حجم کم داده‌ها از آزمون ناپارامتری کروسکال والیس نیز استفاده شد که با مقدار آماره مجذور کای $6/06$ و p -مقدار $0/041$ همین نتیجه حاصل شد.

همچنین با انجام آزمون توکی که برای شناسایی زیر گروه‌های همگن مورد استفاده قرار می‌گیرد (جدول ۱۴) مشخص شد از نظر درصد عنصر سیلیسیم در سطح معناداری 5 درصد سکه‌های ضرب بازار ۱ و بازار ۲ در یک گروه و سکه ضرب تبریز در گروه دیگر قرار می‌گیرند.

جدول ۱۴: آزمون توکی برای شناسایی زیرسکه‌های همگن از نظر درصد عنصر سیلیسیم.

Table 14: Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Silicon Content Percentage.

زیر گروه‌های همگن در سطح ۵ درصد		تعداد مشاهدات	نوع سکه
2	1		
	0/980	3	سکه ضرب تبریز
1/260		3	سکه ضرب بازار ۲
1/303		3	سکه ضرب بازار ۱



شکل ۶: شماتیک آزمون توکی برای شناسایی زیر گروه‌های همگن از نظر درصد عنصر سیلیسیم.

Figure 6: Schematic Representation of the Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Silicon Content Percentage.

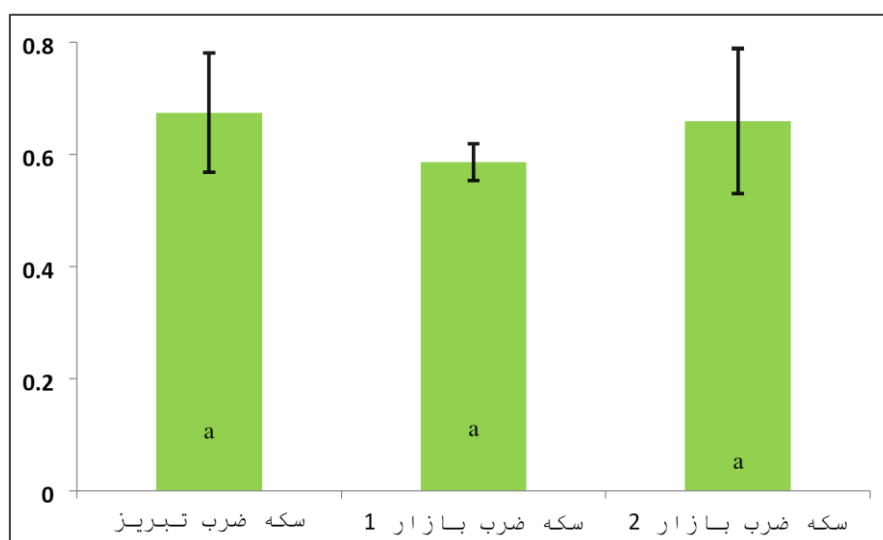
براساس مقدار آماری لیونز ($p > 0.05$) آزمون فرضیه همگنی واریانس‌های خطا برای متغیر درصد عنصر آلومینیوم مورد تایید قرار می‌گیرد و بنابراین واریانس‌های خطا برای متغیر وابسته در سطوح متغیر مستقل (انواع سکه) مساوی است. در جدول ۲۲ اطلاعات مربوط به آزمون تحلیل واریانس یک طرفه برای بررسی درصد عنصر آلومینیوم در سه نوع سکه آمده است. با توجه به مقدار آماره فیشر 0.69 و p -مقدار 0.538 فرضیه صفر یعنی برابری میانگین درصد عنصر آلومینیوم در سه نوع سکه در سطح معناداری 5 درصد رد نمی‌شود. به عبارت دیگر میانگین درصد عنصر آلومینیوم در سه نوع سکه تفاوت معنی‌داری نداشته است و فرضیه "درصد عنصر آلومینیوم موجود در سه نوع سکه متفاوت می‌باشد." تایید نمی‌گردد. برای اطمینان بیشتر، با توجه به حجم کم داده‌ها از آزمون ناپارامتری کروسکال والیس نیز استفاده شد که با مقدار آماره مجذور کای $16/1$ و p -مقدار 0.561 همین نتیجه حاصل شد.

از نظر درصد عنصر آلومینیوم در سطح معناداری 5 درصد سکه‌های ضرب تبریز و بازار 1 و 2 در یک گروه قرار می‌گیرند. شکل ۶ به خوبی این موضوع را نشان می‌دهد.

جدول ۱۵: آزمون توکی برای شناسایی زیرسکه‌های همگن از نظر درصد عنصر آلومینیوم.

Table 15: Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Aluminum Content Percentage.

نوع سکه	تعداد مشاهدات	زیر گروه‌های همگن در سطح 5 درصد
سکه ضرب بازار ۲	3	1
سکه ضرب تبریز	3	0.587
سکه ضرب بازار ۱	3	0.660
		0.675



شکل ۷: شماتیک آزمون توکی برای شناسایی زیر گروه‌های همگن از نظر درصد عنصر آلومینیوم.

Figure 7: Schematic Representation of the Tukey Test for Identifying Homogeneous Subgroups Based on Aluminum Content Percentage.

۶. نتیجه‌گیری

اولین مرحله این پژوهش با مطالعات سطح بیرونی سکه‌های مورد مطالعه مشخص گردید که این سکه‌ها در شرایط ماندگاری عالی به دلیل درصد بالای ریزساختار طلا و مقاومت این فلز در برابر خوردگی و فرسایش بوده و همچنین درصد بالای فلز طلا و درصد پایین ریزساختارهای ناخالصی و احتمالاً تمیزکاری در سطح در دوره‌های مختلف باعث جلا و درخشش آنها می‌باشد؛ تفاوت‌های سطح بیرونی هر سه سکه در فرم ظاهری و نقش‌مایه نشان‌دهنده تنوع و عدم وجود یک مدل رسمی برای ضرب می‌باشد؛ خط‌نگاره‌های روی سکه‌ها بر وقایع سیاسی سه سال اول حکومت ابوسعید تأکید دارند؛ نماد و نوشتار مقدس بر این سکه‌ها تأکیدی بر تتوکراتیک و تقدس‌گرایی در زمان فرمانروایی ابوسعید بهادر است؛ تفاوت و تنوع در فرم و نمادها بیانگر تنوع و عدم وجود یک الگوی رسمی و استاندارد خاص در مناطق تحت سلطه است؛ فرم و ظاهر و نمادهای سطح سکه تحت تأثیر مسائل سیاسی و تتوکراتیک دوره ایلخانی و به‌ویژه در دوره فرمانروایی ابوسعید می‌باشد.

در پاسخ به سؤال اول، نتایج مطالعات ساختار درونی سکه و انجام آزمایش پیکسی داده‌های ریزساختار تشکیل‌دهنده فلز نشان می‌دهد هر سه سکه با تفاوت در داده‌های ریزساختار اصلی با درصد خلوص بالای فلز طلا ضرب شده‌اند؛ بالاترین درصد ریزساختار ناخالصی مربوط به سکه شماره ۴۴ ضرب بازار ۱ است؛ میانگین عیار طلای سکه‌ی ضرب تبریز تقریباً ده درصد بیشتر از سکه ضرب بازار ۱ می‌باشد و بیشترین درصد ریزساختار ناخالصی سکه‌ها در نقره و کمترین درصد ریزساختار ناخالصی در نیکل و تیتانیوم و سیلیسیم و... مشاهده شد؛ مقادیر ریزساختار ناخالصی و فرعی معمولاً در نتیجه شرایط محیطی زمان دفن طولانی و ملاحظات فنی و یا اقتصادی و یا به‌طور طبیعی در مراحل ریخته‌گری و خنک‌سازی و یا به دلیل فرایند گالوانیکی ایجاد می‌شوند؛ لازم به ذکر است در سکه‌های طلا با خلوص بالا طلا دچار فرایند خوردگی نمی‌شود اما ناخالصی‌های سطح و درون سکه ممکن است تحت تأثیر فرایند گالوانیکی قرار بگیرند؛ نتایج فوق و همچنین خلوص بسیار بالای عنصر طلا در هر سه سکه به‌عنوان عنصر اصلی نشان می‌دهد که در طی فرایند ضرب سکه ضرابخانه در وضعیت خوب اقتصادی بوده است. در پاسخ به سؤال دوم، تحقیق بر اساس نتایج آمار توصیفی و استنباطی داده‌های ریزساختار ناخالصی یکنواختی در آنها مشاهده نگردید و این عدم یکنواختی و پراکندگی بر ناهمگنی ریزساختارها تأکید دارد.

در میان ریزساختارهای ناخالصی در سکه‌های مورد مطالعه، نقره بالاترین درصد ریزساختار ناخالصی را داراست که نشان می‌دهد در طول فرایند جداسازی و تصفیه کاهش میزان نقره و دیگر ناخالصی‌ها برای بالا بردن عیار طلا انجام شده است؛ چراکه در طلای خام مقادیر نقره به‌صورت طبیعی با درصد بالاتر وجود دارد و داده‌های درصد نقره بر کنترل محسوس بر سطح ناخالصی و کاربرد تکنیک بالا در فرایند تصفیه تأکید دارد.

مقادیر داده‌های موجود ریزساختار ناخالصی مس می‌تواند در نتیجه آلودگی کانی‌ها در معدن اصلی و یا مربوط به مکان ذوب باشد؛ باید در نظر گرفت که اگر در فرایند تولید مقداری مس بر ساختار متالورژیکی اضافه گردد، ممکن است برای بهینه‌سازی فرایند ساخت و ایجاد تعادل و مقاومت در برابر عوامل گالوانیکی و مقاومت طلا در برابر تغییر رنگ بوده و به عمد مقادیر مس از طلا حذف نگردد؛ تجزیه و تحلیل داده‌ها و نتایج آمار توصیفی و استنباطی ریزساختارهای ناخالصی شناسایی شده مثل آهن و آلومینیوم، تیتانیوم، سیلیسیم و... با مقادیر کم در نتیجه عوامل طبیعی، محیطی و فناوری تولید می‌باشد؛ همچنین نتایج حاصله بر آلودگی و ناخالصی در اثر تدفین طولانی‌مدت در خاک، مکان تدفین و شرایط نگهداری تأثیرگذار بر ساختار بیرونی و درونی سکه‌ها تأکید دارند.

سپاسگزاری

در پایان، از جناب آقای دکتر جبرئیل نوکنده، مدیر محترم موزه ملی ایران، و جناب آقای نصیری، مسئول محترم خزانه موزه ملی ایران، که منابع مورد نیاز برای این پژوهش در دسترس قرار داده و همکاری لازم صورت گرفت، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

تضاد منافع

در این مقاله تضاد منابع وجود ندارد.

منابع / References

- Ahmadi-Far, F. (2001). An Introduction to Numismatics. *Roshd Journal, Spring Issue*, (5), 44–45. (In Persian)
- [احمدی‌فر، ف. (۱۳۸۰). «مقدمه‌ای بر سکه‌شناسی». *مجله رشد بهار*، (۵)، ۴۴–۴۵.]
- Beck, L. (2005). Improvement in detection limits by using helium ions for particle-induced x-ray emission. *X-Ray Spectrometry: An International Journal*, 34(4), 393-399. <https://doi.org/10.1002/xrs.854>
- Biswas S., Gerchow L., Luetkens H., Prokscha T., Antognini A., Berger N., Cocolios T.E., Dressler R., Indelicato P., Jungmann K., et al. (2022). "Characterization of a continuous muon source for the non-destructive and depth-selective elemental composition analysis by muon-induced X- and gamma-rays". *Appl. Sci.* 12:2541. <https://doi.org/10.3390/app12052541>
- Blair, S. (1983). "The Coins of the Later Ilkhanids, a Typological Analysis". *Journal of the Economic and Social History of the Orient*, 26(3), 295-317.
- Blair, S., 1992. *The Monumental Inscriptions from Early Islamic Iran and Transoxiana*, E. J. Brill, Leiden, Netherlands.
- Ferreira, G., & Gil, F. (1981). Elemental Analysis of Gold Coins by Particle Induced X-Ray Emission (PIXE). *Archaeometry*, 23(2), 189-197.
- Gitler H. (2006). "A Hoard of Persian Yehud coins from the environment of Ramallah". *Numisma*. 250, 319–324.
- Gitler H., Goren Y., Konuk K., Tal O., Alfen P., and Weisburd D. (2020). *XRF analysis of several groups of electrum coins*. In: van Alfen P., Wartenberg U., Fischer-Bossert W., Gitler H., Konuk K., Lorber C.C., editors. *White Gold, Studies in Early Electrum Coinage*. American Numismatic Society; New York, NY, USA.
- Gordus A.A. (1970). *Neutron activation analysis of archaeological artefacts*. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A.*, 269, 165–174.
- Heidemann, S. (2010). *Calligraphy on Islamic Coin*. In the *Aura of Alif: The Art of Writing in Islam*, Frembgen, J. W. (ed.) Prestel, Munich.
- Lane-Poole, S. (1881). *The coins of the Mongols in the British Museum*, British Museum, London, Classes XVIII-XXII: LVI.
- Lane-Poole, S. (1897). *Catalogue Of the Collection of Arabic Coins Preserved in the Khedival Library At Cairo*, London: Printed by Gilbert and Rivington.
- Majeed, M. (2008). "The Role of the Quranic and Religious Inscriptions in the Buq Pīr-i Bakrān, Isfahan: The Shīr Reign of Öljeytū Khudābande in Ilkhānid Iran", *Journal of Quranic Studies*, 10(2), 111-123.
- Majeed, T. (2006). *The phenomenon of the square Kufic script: the cases of Ilkhanid Isfahan and Bahri Mamluk Cair*, Ph.D. Thesis, Department of Oriental Studies, University of Oxford.
- Martinot, L. (2000). "Is the External beam PIXE method suitable for determining ancient silver fineness?" *Nuclear Instrument and Methods on Physics Research*, 161-163, 724-729.

- Mayan M. J. (2001). *An Introduction to Qualitative Methods: A Training Module for Students and Professionals*. Canada, Int, Institute for Qualitative Methodology, University of Alberta Press.
- Meyers, P. (2003). "Production of Silver in Antiquity: ore types Identification based upon Elemental Composition of Ancient Silver Artifacts. In: *Patterns and process*, Zelekt (ed.)," Smithsonian Center for Materials Research and Education, Suitland, Maryland, 271-288.
- Miles, G. C. (1939). "Epitaphs from an Isfahan Graveyard". *Ars Islamica*, 6(2), 151-157.
- Miles, G. C. (2007). *Numismatics. In The period from the Arab Invasion to the Saljuqs*, Frye, R. N. (ed.), Cambridge University Press, Cambridge.
- Miles, G. C. (1939). "Epitaphs from an Isfahan Graveyard". *Ars Islamica*, 6(2), 151-157.
- Miles, G. C. (2007). *Numismatics. In The period from the Arab Invasion to the Saljuqs*, Frye, R. N. (ed.), Cambridge University Press, Cambridge.
- Mommsen, H., & Schmittinger, T. (1981). Test Analysis of Ancient au and ag Coins Using High Energy PIXE. *Archaeometry*, 23(1), 71-76.
- Moreno-Suárez, A. I., Ager, F. J., Scrivano, S., Ortega-Feliu, I., Gómez-Tubío, B., & Respaldiza, M. A. (2015). First attempt to obtain the bulk composition of ancient silver-copper coins by using XRF and GRT. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 358, 93-97. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2015.05.038>
- Nazarian, O., Mortezaei, M., Shihgar, A., and Shabani, R. (2023). "An Archaeological Study of Ilkhanid Coins: A Case Study of the Gold Coins of the Abu Sa'id Ilkhanid Period Unearthed from the Jameh Mosque of Tabriz and Preserved in the National Museum of Iran Treasury". *The Journal of Archaeological Studies*, 15(1)/ISC (15 - 246) (In Persian).
- [نظریان، آ.، مرتضایی، م.، شیشه‌گر، آ.، شعبانی، ر. (۱۴۰۲). «بررسی باستان‌شناسی سکه‌های ایلخانی (مطالعه موردی سکه‌های طلایی دوره ابوسعید ایلخانی مکشوفه از مسجد جامع تبریز موجود در گنجینه موزه ملی ایران)». *مطالعات باستان‌شناسی*، ۱۵(۱)، ۱۵-۲۴۶/ISC]
- Niknami, K. (2011). *Advanced Statistical Methods in Archaeological Data Analyst*. Tehran: SAMT. (In Persian)
- [نیکنامی، کمال‌الدین. (۱۳۹۰). *روش پیشرفته آماری در تحلیل داده باستان‌شناسی*. تهران: سمت.]
- Oliaiy, P., Afarideh, H. and Agha- Aligol, D. (2015). Statistical Study of the Achaemenid, Parthian and Sassanid Silver Coins Using Elemental Analysis by PIXE Technique. *Journal of Archaeological Studies*, 7(1), 17-28. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2015.56664> (In Persian).
- [اولیایی، پ.، آفریده، ح.، آقاعلی‌گل، د. (۱۳۹۴). «مطالعه آماری سکه‌های نقره هخامنشی، اشکانی و ساسانی با استفاده از آنالیز عنصری به روش پیکسی». *مطالعات باستان‌شناسی*، ۷(۱)، ۱۷-۲۸. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2015.56664>]
- Smith, J. M. (1969). "The Silver Currency of Mongol Iran". *Journal of the Economic and Social History of the Orient*. 12, 16-41.
- Smith, J. M. (1969). "The Silver Currency of Mongol Iran". *Journal of the Economic and Social History of the Orient*. 12: 16-41.
- Spuler, B. (2005). *History of the Mongols in Iran*, translated by Mahmoud Mir Aftab. Tehran: Scientific and Cultural Publishing Company. (In Persian)
- [اشپولر، ب. (۱۳۸۴). *تاریخ مغول در ایران*، ترجمه محمود میرآفتاب. تهران: انتشارات علمی و فرهنگی.]