

## بررسی مونت کارلو تشخیص عیار طلا با استفاده از تکنیک PIGE

شراره بابامحمدی، محمدرضا رضایی

گروه مهندسی هسته‌ای - دانشکده علوم و فناوری های نوین - دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته

mr.rezaie@kgut.ac.ir

### بحث و نتیجه گیری

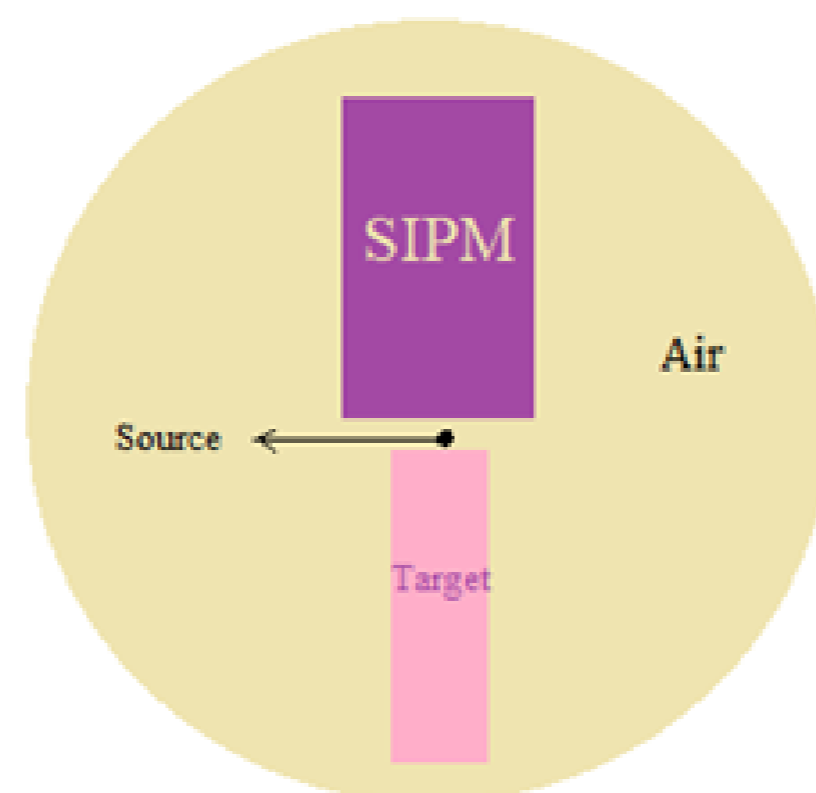
در این تحقیق امکان استفاده از روش PIGE که یک روش هسته‌ای است برای محاسبه درصد عیار طلا بررسی شده است. با تابش یک باریکه پروتون با انرژی 20-25 MeV بر نمونه طلا با عیارهای مختلف پاسخ آشکارساز SIPM در درصدهای محاسبه شده است. با برازش یک معادله بر داده‌های بدست آمده، رابطه بین پاسخ آشکار با درصد عیار طلا در نمونه استخراج شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که امکان استفاده از روش PIGE برای محاسبه درصد عیار طلا وجود دارد.

### مراجع

- [1] Y. Jun-ping and W. Chang, "Analysis of Requirements for the Performance of Karat Gold Master Alloys for Jewelry [J]," Journal of Guangzhou Panyu Polytechnic, vol. 2, 2009.
- [2] K. Saradesh and G. Vinodkumar, "Grain refinement of 24 karat gold (99.99 wt.% pure) and 22 karat gold (Au-5.8 wt.% Cu-2.5 wt.% Ag) by Au-6wt.% Ti grain refiner," Gold Bulletin, vol. 53, no. 1, pp. 19-29, 2020.
- [3] N. Mohamed, F. Mohammed, I. C. Yen, and R. Maharaj, "A Preliminary Quality Survey of Gold Jewellery Sold in Trinidad and Tobago," International Journal of Applied Chemistry, vol. 12, no. 4, pp. 549-556, 2016.
- [4] M. S. H. Abdelkarim, "Role of Consumer Behavior in Quality Standard of Gold (Purity Or Fineness)-Case Study: Local Gold Market-Sudan," Sudan University of Science & Technology, 2016.
- [5] F. M. Nor, A. Tamuri, and A. Ismail, "Fake gold: Gold purity measurement using non destructive method," Int. J. Eng. Technol., vol. 8, no. 1.1, pp. 165-172, 2019.
- [6] R. Kumar, A. Rani, R. Singh, and R. Soni, "EDXRF analysis of carat/under carat gold (Au) samples," in AIP Conference Proceedings, 2018, vol. 2006, no. 1: AIP Publishing LLC, p. 030041.
- [7] M. F. Guerra, "An overview on the ancient goldsmith's skill and the circulation of gold in the past: the role of x-ray based techniques," X-Ray Spectrometry: An International Journal, vol. 37, no. 4, pp. 317-327, 2008.
- [8] G. Demortier and F. Bodart, "Complementarity of PIXE and PIGE for the characterization of gold items of ancient jewelry," Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol. 69, no. 1-2, pp. 239-257, 1982.
- [9] M. F. Guerra and T. Calligaro, "Gold traces to trace gold," Journal of Archaeological science, vol. 31, no. 9, pp. 1199-1208, 2004.
- [10] J. Ruvalcaba and G. Demortier, "Non-destructive analysis of American gold jewellery items by PIXE, RBS and PIGE," in Application of Particle and Laser Beams in Materials Technology: Springer, 1995, pp. 463-470.
- [11] S. Samanta, A. Sengupta, S. Ghorui, R. Acharya, and P. Pujari, "The standardization and application of an external (in air) particle induced gamma emission (PIGE) method for the rapid and non-destructive quantification of light elements at major to trace concentrations in coal, bottom ash and coke samples," Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2022.
- [12] F. Lucarelli et al., "The upgraded external-beam PIXE/PIGE set-up at LABEC for very fast measurements on aerosol samples," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, vol. 318, pp. 55-59, 2014.
- [13] M. Kamrujjaman, M. Islam, M. Hossain, A. Hoque, And A. Saadat, "Elemental Analysis of Arable Soil by Proton Induced Gamma Emission (PIGE)," Journal of Soil and Nature. 2008;2(1):34-9.
- [14] F. B. Brown et al., "MCNP version 5," Trans. Am. Nucl. Soc, vol. 87, no. 273, pp. 02-3935, 2002.

### مواد و روش ها

باریکه پروتون با انرژی 20-25 MeV بر یک قطعه طلا با درصد عیارهای متفاوت با ضخامت 2 mm و قطر 1 cm مطابق شکل ۱ تابیده میشود. یک آشکارساز SIPM نیز به عنوان آشکارساز سوسوزن طیف گامای ساطع شده از برخورد پروتون به نمونه طلا را اندازه گیری میکند.

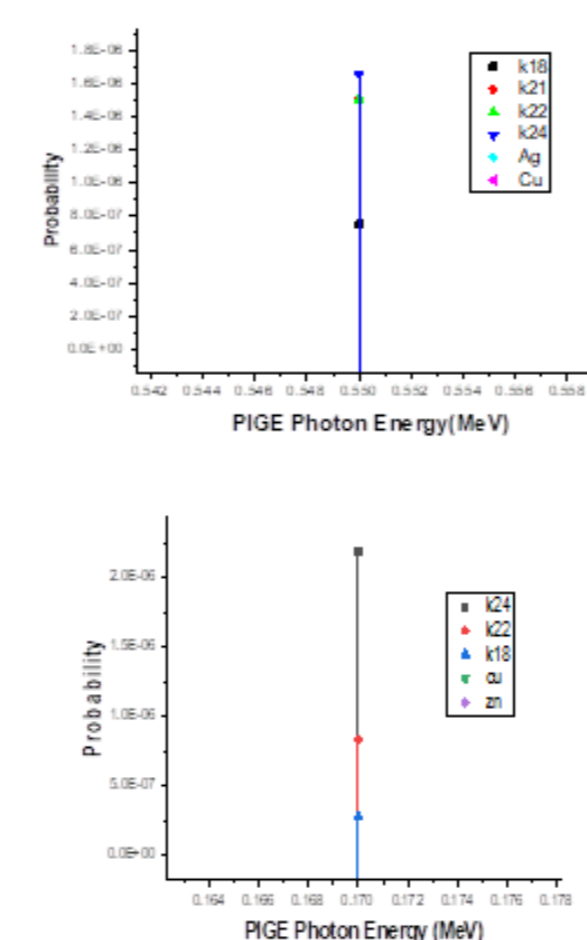


شکل ۱: نمایی از هندسه دستگاه

با استفاده از تالی f8 میزان گامای مشخصه عناصر مختلف موجود در نمونه طلا در آشکارساز SIPM اندازه گیری میشود. کد MCNP با یک سیستم کامپیوتری دارای ویندوز ۱۰ و CPU 2.4 GHz و رم GB2.3 اجرا شده است. جهت رسیدن خطا در نتایج شبیه سازی به زیر یک درصد ۱۰۸ ذره در نظر گرفته شده است. نمودار طیف های گامای مشخصه با استفاده از نرم افزار Origin پردازش شده است.

### یافته ها

جهت مشخص شدن طیف گامای مشخص هر یک از عناصر موجود در طلا ابتدا چگالی هر یک از عناصر با توجه به درصد هر عنصر در ترکیب بدست می آید. چگالی هر عنصر در ترکیب برابر حاصلضرب چگالی خالص آن در درصد آن عنصر در ترکیب است. با رسم داده های طیف مشخصه هر عنصر در ترکیب خطوطی از طیف عناصر که بر هم منطبق نیستند بعنوان گامای مشخصه آن عنصر معرفی میشوند. شکل های ۲ و ۳ گامای مشخصه طلا با دو ترکیب الیازی متفاوت را نشان میدهد.



شکل ۲: طیف گامای منتشر شده برای ترکیب طلا، مس و نقره و ترکیب طلا، مس و روی

با توجه به نتایج شکل گامای مشخصه طلا برابر 0.170 MeV برای ترکیب اول و 0.550 MeV برای ترکیب دوم معرفی میشود. در این انرژی ها خطوط تابشی از عناصر دیگر موجود در طلا وجود ندارد. درصد عیار طلا در نمونه با توجه به پاسخ آشکارساز SIPM در کد MCNP بدست آمده است که در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: درصد عیار طلا در دو نمونه طلا با توجه به پاسخ آشکارساز SIPM در دو انرژی مشخصه

E=0.17 MeV		E=0.55 MeV	
Gold: (Au, Cu, Zn)		Gold: (Au, Ag, Zn)	
carat	SiPM response	carat	SiPM response
24	2.20E-06	24	1.66E-06
22	8.33E-07	22	1.51E-06
18	2.81E-07	18	7.55E-07

معادلات برازش ۱ و ۲ بر نتایج بدست آمده در جدول ۱، رابطه بین درصد عیار طلا با پاسخ آشکارساز SIPM را نشان میدهد.

$$\text{Carat} = 24 - 1.5E7X + 9E12X^2 \quad \text{Gold: (Au, Ag, Zn)} \quad (1)$$

$$\text{Carat} = 60X0.07 \quad \text{Gold: (Au, Cu, Zn)} \quad (2)$$

### چکیده

تشخیص عناصر موجود در یک نمونه از اهمیت ویژه ای برخوردار است و تاکنون با روش های مختلفی انجام شده است. یکی از این روشها PIGE است که در این تحقیق سعی میشود که با استفاده از این روش عیار طلا با ترکیبات مختلف بدست آید. طلا ترکیبی از طلای خالص و عناصر دیگر است. در این تحقیق با استفاده از باریکه پروتونی با انرژی 25 MeV که به یک هدف طلا با عیارهای مختلف تابیده میشود سعی میشود که طیف گامای مشخصه طلا با استفاده از نتایج کد MCNP مشخص شود. با برازش یک معادله بر نتایج بدست آمده از شبیه سازی مونت کارلو رابطه بین پاسخ آشکارساز SIPM با درصد عیار طلا فرمول بندی میشود.

واژگان کلیدی: طلا، عیار، SIPM، مونت کارلو، پروتون، PIGE

### مقدمه

عیار طلا برابر است با نسبت جرم طلای بکار رفته در یک نمونه به جرم کل عناصر موجود در آن است که با واحد carat نشان داده میشود [۱]. عیار طلای خالص برابر ۲۴ و دامنه تغییرات آن بین ۱۸ تا ۲۴ بیان میشود [۲]. عناصر فلزی موجود در طلا شامل مس، Zn، Ag، Cu و ... است. که درصد آنها رنگ طلا را مشخص میکند [۳]. درصد خلوص طلا در عیار ۲۴ برابر ۹۹/۹۹ درصد و درصد طلای عیار ۱۸ برابر ۷۵ درصد میباشد [۴]. در عیارهای دیگر درصد طلا کاملاً مشخص است. روش های مختلفی برای تشخیص درصد عیار طلا معرفی شده است [۵]. روش EDXRF یکی از روش های اتمی است که با تابش الکترونیهای پراثری بر قطعه طلا و محاسبه طیف اشعه ایکس مشخصه هر عنصر می توان عیار طلا را مشخص کرد [۶، ۷].

روش PIGE یکی از روشهای هسته‌ای که با تابش پروتون با انرژی مختلف و محاسبه طیف گامای مشخصه هر عنصر می تواند درصد عناصر بکار رفته را در یک نمونه بدست آورد [۸]. از روش PIGE برای محاسبه درصد عناصر در خاک، خون، بافت نرم، ... استفاده شده است [۹-۱۳]. در این تحقیق سعی میشود که با تعریف طلا با درصد عیار متفاوت در فایل ورودی کد MCNP و تابش یک پروتون با انرژی 20-25 MeV طیف گامای مشخصه طلا و عناصر بکار رفته در آن محاسبه شود. کد MCNP یک کد هسته‌ای - اتمی است که توانایی ردیابی ۳۲ ذره اتمی هسته‌ای را دارد [۱۴]. در ادامه به ذکر چگونگی انجام اینکار پرداخته میشود.