Karafan

Quarterly Scientific Journal of National University of Skill

Spring 2025,Vol.22,No.1, p. 344-355

Journal Homepage: https://karafan.nus.ac.ir/?lang=en

doi:10.48301/KSSA.2023.389428.2477

Determination and Measurement of Parameters Affecting the Efficiency of an Alpha Spectrometry System

Hassan Ranjbar[1*], Mohammadreza Yazdani[2] Mohsen Mehrabi[3]

[1]Associate Professor, Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran.

[2]Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

[32]Assistant Professor, Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Received: 03.12.2023
Revised: 04.15.2023
Accepted: 05.06.2023

Keyword:
Efficiency
Am-241
Pu-239
Cm-244
Alpha Spectrometry

***Corresponding Author:**
Hassan Ranjbar
Email: *hranjbar@aeoi.org.ir*

ABSTRACT

Alpha particle spectroscopy is a measurement method that has found applied applications in several fields such as measuring nuclear decay data, geological studies or measuring low levels of activity in the environment. In all these measurements, determining the value of detection efficiency is highly important as without it, quantitative measurement will not be possible. Several factors affect detection efficiency. The purpose of this study was to measure the changes in detection efficiency concerning alpha particle energy, sample-to-detector distance and detector size. For this purpose, the efficiency of detection for different energies of 241Am, 239Pu, 244Cm, different sample-to-detector distances (2 to 52 mm) and different detector sizes (450 and 600 mm2) was investigated. The measurement results showed that the detection efficiency was reduced by approximately 20 times by changing the distance from the source to the detector from 2 mm to 5.2 cm but efficiency was not dependent on the energy of alpha particles (maximum variation of 11%). In addition, the difference in source count at two different times and for two different detectors was approximately 1 and 1.2 per cent, indicating the stability of the system.

©2025 the authors. Published by National University of Skill, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Alpha spectrometry is one of the methods of analyzing radioactive materials, which is widely used due to its unique features such as high counting efficiency, low background counting rate, and high ability to measure various types of alpha radionuclides. In addition, due to the possibility of using an alpha isotope as an internal tracer, it has high reliability and is widely used.

In alpha spectrometry, to quantitatively measure the concentration of alpha radionuclides in each unknown sample, it is necessary to know the detection efficiency. Various research have been conducted on the factors involved and effective in alpha spectrometry such as system voltage and current, source type, and FWHM.

In this research, evaluations were made on the efficiency of detection and the factors affecting it as one of the most important effective parameters in alpha spectrometry. In addition to the quality of the source (sample), factors such as the type and dimensions of the detector, the energy of the beam or the particles emitted, as well as the geometric shape of the source and its distance from the detector can be factors affecting the efficiency. Therefore, for the first time in the country, the effect of alpha particle energy, the effect of the distance between the sample and the detector, and the effect of the detector size on the detection efficiency were investigated to determine the best performance conditions for alpha spectrometry.

Methodology

The main equipment used in this experiment was a multi-channel alpha quattro spectrometer manufactured by SILENA. This device has 4 counting chambers, each of which can be controlled separately by analysis software. It is also possible to create a vacuum to the desired extent with a vacuum pump in each of the chambers.

Inside each chamber is a source holder that allows counting of sources with a diameter of 18-51 mm and at a distance of 2-42 mm in 4 mm steps using slots on the wall. The sample (source) used in this experiment was a standard source containing radionuclides ^{241}Am, ^{239}Pu and ^{244}Cm, which was made through electrodeposition on stainless steel planchets. The uncertainty of the activity in this source was 3% at the 95% confidence level.

To undertake the energy calibration and determine the efficiency, the source was placed in the chamber at all possible distances and counting was done in all cases with a counting time of 1845 seconds. The efficiency values were calculated by dividing the net count rate obtained by the alpha emission rate from the source which is provided in the certificate sheet of the source. To investigate each of the mentioned parameters, counting was performed with 3 repetitions, and the average result of 3 repetitions compared as the result of counting.

Results and discussion

Table 1 shows the changes in detection efficiency concerning the energy of alpha particles for a source located at a distance of 30 mm from the alpha detector.

Table 1. Effect of alpha particle energy on detection efficiency.

Radionuclides	Alpha particle energy (keV)	Sample to detector distance (mm)	detection efficiency
Plutonium-239	5156.6	30 mm	3.29%
Americium-241	5485.6		3.24%
Curium-244	5804.8		3.18%

As can be observed from the table above, in alpha spectroscopy, the dependence of efficiency on energy is not high. Since the penetration of alpha particles is very low, the range of the most energetic ones in the air does not exceed several centimetres, or its range in water is only about a few microns (due to the high charge and mass of alpha particles in various energies). The alpha entered into the sensitive volume of the detector is easily absorbed, stopped and revealed. Therefore, the counting efficiency is not dependent on the energy of the particles and will only depend on the counting geometry. Figure 1 shows the detection efficiency of plutonium-239 and curium-244 alpha particles for different distances.

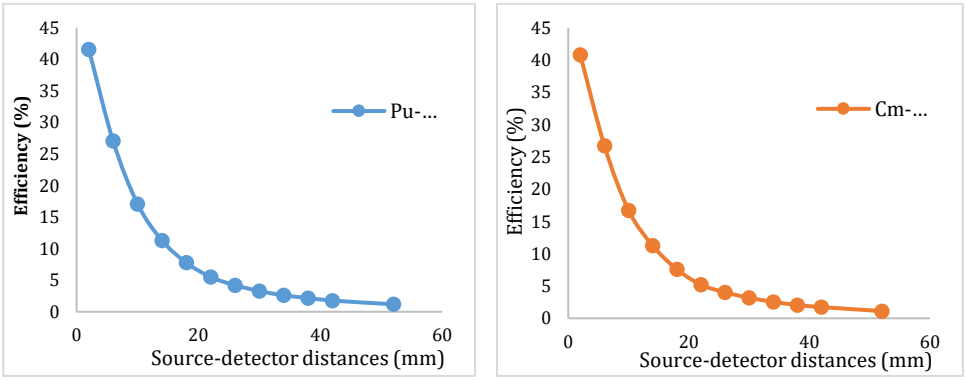


Figure 1. Effect of source to detector distance on detection efficiency.

Table 2 shows the changes in detection efficiency related to Pu-239, Am-241 and Cm-244 for different distances from the source to the detector with two different areas of 450 mm^2 and 600 mm^2.

Table 2. Detection efficiency of alpha spectrometer (in per cent) at different distances and with two different detector areas.

Radionuclides	Detector area	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	52
Pu-239	450 mm^2	41.6	27.05	17.1	11.32	7.79	5.51	4.21	3.29	2.6	2.18	1.77	1.18
Am-241		40.01	26.25	16.21	10.94	7.63	5.44	4.17	3.24	2.59	2.1	1.75	1.15
Cm-244		40.79	26.72	16.74	11.27	7.61	5.22	4.03	3.18	2.56	2.06	1.74	1.12
Pu-239	600 mm^2	43.22	30.07	20.4	14	10.13	7.53	5.76	4.52	3.6	2.89	2.41	1.56
Am-241		41.4	28.3	19.52	13.37	9.74	7.11	5.54	4.46	3.55	2.76	2.3	1.51
Cm-244		42.62	29.6	20.11	13.57	9.85	7.42	5.66	4.31	3.38	2.8	2.27	1.5

If 22 mm (the distance between the source and the detector) is considered as the distance, according to the type of radionuclide, the detection efficiency with the larger detector is approximately 30-42% more than the detection efficiency with the smaller

detector. As a result, it can be observed that the detection efficiency is highly dependent on the size of the detector, or in other words, on the measurement geometry.

Conclusion

The results of the present study demonstrated that the detection efficiency does not depend on the energy of alpha particles emitted from alpha radionuclides, but it strongly depends on the measurement geometry. To have high efficiency, the sample should be as close as possible to the detector, otherwise, more counting time and improvement of vacuum conditions are needed.

فصلنامه علمی دانشگاه ملی مهارت
بهار ۱۴۰۴،دوره ۲۲، شماره۱، ۳۴۴-۳۵۵
آدرس نشریه: https://karafan.nus.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2023.389428.2477

تعیین و اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر بر بازدهی یک سیستم آلفا اسپکترومتری

حسن رنجبر[1*]، محمدرضا یزدانی[2] محسن محرابی [3]

۱- دانشیار، پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.
۲- استادیار، گروه مهندسی برق، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.
۳- استادیار پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶

کلید واژگان:
بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری
آمرسیم-۲۴۱
پولوتونیم-۲۳۹
کوریم-۲۴۴
طیف‌سنجی آلفا

***نویسنده مسئول:** حسن رنجبر
پست الکترونیکی:
hranjbar@aeoi.org.ir

چکیده

طیف‌سنجی ذره آلفا یک روش اندازه‌گیری است که کاربردهای عملی بسیاری در زمینه‌های مختلف مانند اندازه‌گیری داده‌های واپاشی هسته‌ای، مطالعات زمین‌شناسی یا اندازه‌گیری سطوح پایین اکتیویته در محیط پیدا کرده است. در تمام این اندازه‌گیری‌ها تعیین مقدار بازده آشکارسازی از اهمیت بالایی برخوردار است به‌طوری که بدون آن اندازه‌گیری کمّی امکان‌پذیر نخواهد بود. عوامل متعددی بر بازده آشکارسازی تأثیرگذار هستند. هدف از این تحقیق، اندازه‌گیری تغییرات بازده آشکارسازی نسبت به انرژی ذرات آلفا، فاصله نمونه از آشکارساز و اندازه ابعاد آشکارساز است. برای این منظور، بازدهی یا بازده آشکارسازی برای انرژی‌های مختلف رادیونوکلید ^{241}Am، ^{239}Pu و ^{244}Cm ، فواصل ۲ تا ۵۲ میلی‌متری نمونه تا آشکارساز و اندازه‌های مختلف آشکارساز (mm^2 ۴۵۰ و mm^2 ۶۰۰) بررسی شد. نتایج اندازه‌گیری نشان دادند که بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری با تغییر فاصله چشمه تا آشکارساز از ۲ میلی‌متر به ۵/۲ سانتی‌متر حدود ۲۰ برابر کاهش می‌یابد در حالی که بازدهی به انرژی ذرات آلفا وابسته نیست (حداکثر تغییرات ۱۱ درصد). همچنین اختلاف شمارش چشمه در دو زمان متفاوت و برای دو آشکارساز مختلف حدود ۱ و ۱/۲ درصد به‌دست آمد که نشان‌دهنده پایداربودن سیستم می‌باشد.

مقدمه

طیف‌سنجی آلفا یکی از روش‌های آنالیز مواد رادیواکتیو است که به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فردی مانند بازدهی شمارش بالا، پایین‌بودن نرخ شمارش پس‌زمینه[1]، قابلیت بالا در اندازه‌گیری انواع رادیونوکلیدهای آلفازا و قابلیت اطمینان بالای آن به دلیل امکان استفاده از یک ایزوتوپ آلفازا به‌عنوان ردیاب داخلی[2] به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱ و ۲].

سیستم طیف‌سنجی آلفا یک سیستم نسبتاً ساده است و عموماً شامل یک آشکارساز نیمه‌رسانا سیلیکونی، یک پیش‌تقویت‌کننده حساس به بار، یک تقویت‌کننده خطی (آمپلی‌فایر) و یک آنالیزور چندکاناله (MCA) به همراه یک رایانه شخصی (PC) با کارت رابط مناسب برای جمع‌آوری و پردازش داده‌ها است. علاوه بر این‌ها به دلیل اینکه ذرات آلفا برد کمی (حتی در هوا) دارند اندازه‌گیری‌های به این روش باید در محیط تحت خلأ انجام پذیرند تا از تضعیف ذرات آلفا جلوگیری گردد [۳].

در مراحل مختلف چرخه سوخت هسته‌ای از اکتشاف و استخراج تا تبدیل اورانیوم به محصولات میانی مانند کیک زرد و هگزافلوراید اورانیوم و ساخت سوخت و همچنین بحث پسمانداری و مشخصه‌یابی سوخت‌های مصرفی، نیاز به اندازه‌گیری رادیونوکلیدهای آلفازا وجود دارد. همچنین در زمینه پایش‌های محیطی از نظر حفاظت پرتویی مردم و محیط‌زیست و تعیین ریسک پرتوگیری از منابع طبیعی و منابع ساخت دست بشر، تعیین میزان رادیونوکلیدهای آلفازا از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این راستا طیف وسیعی از انواع نمونه‌های جامد مانند خاک و مواد شیمیایی، نمونه‌های مایع مانند جریان‌های مختلف در کارخانه فراوری و ساخت سوخت یا نمونه‌های بیولوژیکی یا نمونه‌های گازی جمع‌آوری‌شده بر روی فیلترها باید از نظر پرتوزایی بررسی و اندازه‌گیری شوند [۵،۴].

در طیف‌سنجی آلفا به‌منظور اندازه‌گیری کمی میزان غلظت رادیونوکلیدهای آلفازا در هر نمونه مجهول نیاز به مشخص‌بودن بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری است. فعالیت‌ها و پژوهش‌های مختلفی بر روی عوامل دخیل و مؤثر در آلفا اسپکترومتری مانند ولتاژ و جریان سیستم، نوع چشمه انجام شده است برای مثال در این راستا رنجبر و همکارش به بررسی تجربی پهنای پیک طیف آلفا یا همان FWHM طیف ذرات آلفا و عوامل مؤثر بر آن پرداختند [۷،۶].

تو-گوین-فان و همکارانش به بررسی و مقایسه بازدهی آلفا اسپکترومتری به دو روش عملی و محاسباتی (شبیه‌سازی) پرداختند. نتایج عملی آن‌ها نسبت به نتایج شبیه‌سازی میزان کمتری را نشان می‌داد که با افزایش ولتاژ آشکارساز، نتایج دو روش به هم نزدیک‌تر شد [۸].

در تحقیق دیگر، کالین و همکارانش بر روی بازدهی آشکارسازی و مقایسه پارامتر تفکیک‌پذیری طیف در محفظه‌های مختلف یک طیف‌سنج هشت‌کاناله فعالیت انجام دادند. حداکثر اختلاف در تفکیک‌پذیری محفظه‌های مختلف در نتایج آن‌ها ۱/۳keV گزارش شد. علاوه‌بر آن، صحه‌سنجی روش آنها با استفاده از روش تکرارپذیری انجام و تأیید گردید [۹].

گاسکن و همکارش با کمک برنامه‌نویسی فرترن (Fortran) چند عامل مؤثر بر آلفا اسپکترومتری را هم به روش محاسباتی و هم به روش تجربی آزمایش کردند به‌طوری که نتایج هر دو روش با هم توافق خوبی داشت [۱۰].

در این تحقیق، عوامل تأثیرگذار بر میزان بازدهی سیستم آلفا از قبیل ابعاد آشکارساز، فاصله نسبی آشکارساز و شکل هندسی چشمه رادیو اکتیو برای سه چشمه آلفا ارزیابی شد. بنابراین برای اولین‌بار در کشور، اثر انرژی ذرات آلفا، اثر فاصله نمونه تا آشکارساز و اثر اندازه آشکارساز بر بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری به‌منظور تعیین بهترین شرایط عملکرد طیف‌سنجی آلفا تحقیق و بررسی شد.

---

[1] Background
[2] Internal Tracer

روش انجام آزمایش

تجهیزات اصلی به‌کاررفته در این آزمایش یک طیف‌سنج آلفا چندکاناله از نوع alphaquattro ساخت شرکت SILENA می‌باشد. این دستگاه چهار محفظه شمارش دارد که هرکدام به‌طور مجزا توسط نرم‌افزار آنالیز، قابل کنترل هستند. همچنین ایجاد خلأ به میزان مطلوب از طریق پمپ خلأ در هرکدام از محفظه‌ها امکان‌پذیر است (حدود ۱۰۰ میلی‌بار). در هر محفظه، امکان اتصال آشکارسازهای نیم‌رسانا با استصال نقطه‌ای[1] وجود دارد که در این پژوهش آشکارسازها از نوع PIPS با قطرهای مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. این آشکارسازها، آشکارسازهای ذرات باردار قابل اعتماد، مقاوم، پایدار، دارای نویز کم، وضوح خوب (قدرت تفکیک‌پذیری ۱۹ و ۲۲ کیلوالکترون ولت) و بازدهی بالا هستند. از ویژگی‌های دیگر آن‌ها جریان نشتی کم (۳ نانوآمپر) و پنجره ورودی بسیار نازک (کمتر از ۵۰۰ آنگستروم) و سطح قابل تمیز کردن می‌باشد (ساخت شرکت EURISYS MESURES). بخش‌های الکترونیک شامل منبع تغذیه و آنالیزور چندکاناله نیز به‌صورت یکپارچه با محفظه‌های شمارش درون دستگاه قرار دارد و توسط نرم‌افزار آنالیز قابل کنترل هستند (شکل ۱).

آشکارسازهای به‌کاررفته در این پژوهش در بازه انرژی ۱۰-۰ مگاالکترون‌ولت قابلیت پاسخ‌دهی دارند. همچنین ولتاژ بایاس اعمال‌شده بر روی هر آشکارساز مقدار ۴۰ ولت که توسط سازنده توصیه شده است، تعیین شد. درون هر محفظه یک نگهدارنده چشمه وجود دارد که امکان قرارگیری چشمه‌هایی با قطر ۵۱-۱۸ میلی‌متر و در فاصله ۴۲-۲ میلی‌متر با گام‌های ۴ میلی‌متر را با استفاده از شیارهایی بر روی دیواره فراهم می‌کند.

شکل ۱. نمایی از سیستم طیف‌سنجی آلفا به همراه برخی از تجهیزات اندازه‌گیری.

نمونه (چشمه) به‌کاررفته در این آزمایش از نوع استاندارد حاوی رادیونوکلیدهای ^{241}Am، ^{239}Pu و ^{244}Cm است که از طریق لایه‌نشانی الکتروشیمیایی بر روی پلانچت‌هایی از جنس فولاد ضدزنگ با قطر ۲۵ میلی‌متر ساخته شده است. ناحیه اکتیو و پرتوزای آن دایره‌ای به قطر ۷ میلی‌متر می‌باشد. عدم قطعیت اکتیویته در این چشمه ۳ درصد در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

به‌منظور کالیبراسیون انرژی و تعیین بازدهی، چشمه در تمامی فواصل ممکن درون محفظه قرار گرفت و شمارش در تمامی حالات با زمان شمارش ۱۸۴۵ ثانیه انجام شد. مقادیر بازدهی با تقسیم نرخ شمارش خالص حاصل‌شده بر نرخ گسیل آلفا از چشمه که در برگه گواهی چشمه ارائه شده است، محاسبه گردید.

[1] Dot connection

به‌منظور تست پایداری سیستم، چندین شمارش با استفاده از چشمه استاندارد آلفا در فواصل مختلف چشمه، زمان شمارش‌های متفاوت و طی چندین روز مختلف صورت پذیرفت. برای بررسی هریک از پارامترهای ذکرشده شمارش با ۳ مرتبه تکرار انجام شد که میانگین حاصل از ۳ تکرار به‌عنوان نتیجه شمارش مقایسه و بررسی خواهد شد.

نتایج و بحث

نتایج تأثیر انرژی ذرات آلفا بر میزان بازدهی

به‌منظور تعیین بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری، سیستم موردنظر از لحاظ انرژی باید مدرج‌سازی شود. برای این منظور، چشمه مخلوط آلفا داخل اتاقک شمارش طیف‌سنج آلفا بر روی سینی نگهدارنده قرار داده شد و پس از خلأکردن محفظه با استفاده از پمپ خلأ تا فشار حدود ۱۰۰ میلی‌بار (معادل با ۰/۱ اتمسفر)، شمارش به مدت ۱۸۴۵ ثانیه صورت پذیرفت. مدت‌زمان شمارش بر اساس کاهش خطای شمارش به میزان کمتر از ۱ درصد تعیین می‌گردد. پس از اینکه سیستم، مورد کالیبراسیون انرژی قرار گرفت، برای به‌دست‌آوردن بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری و بررسی تأثیر انرژی‌های مختلف بر میزان بازدهی، مقدار بازدهی برای سه قله انرژی ذرات آلفای مربوط به رادیونوکلیدهای ^{241}Am، ^{239}Pu و ^{244}Cm با شمارش چشمه استاندارد مذکور به‌دست آمد. جدول ۱ بازدهی آشکارسازی برای هریک از سه چشمه آلفازا که در فاصله ۳۰ میلی‌متری از آشکارساز قرار گرفته است را نشان می‌دهد.

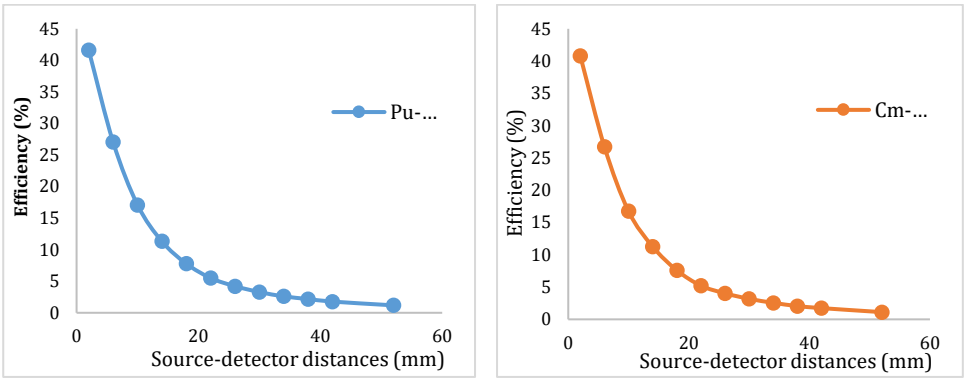
جدول ۱. بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری برای سه چشمه آلفا.

رادیونوکلید مربوطه	انرژی ذرات آلفا (keV)	فاصله از آشکارساز	بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری
پلوتونیم-۲۳۹	۵۱۵۶/۶	۳۰ میلی‌متر	٪ ۳/۲۹
آمرسیم-۲۴۱	۵۴۸۵/۶		٪ ۳/۲۴
کوریم-۲۴۴	۵۸۰۴/۸		٪ ۳/۱۸

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود درطیف‌سنجی آلفا بازدهی وابستگی به انرژی ندارد. از آن‌جایی که قدرت نفوذ پرتوهای آلفا بسیار کم است به‌طوری که برد پرانرژی‌ترین آنها در هوا از چندین سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند یا برد آن در آب فقط حدود چند میکرون است (به دلیل بار و جرم زیاد ذرات آلفا در اغلب انرژی‌ها) بنابراین تمام ذرات آلفای واردشده به حجم حساس آشکارساز به‌راحتی در آن جذب و متوقف و شمارش می‌شوند.

نتایج تأثیر فاصله چشمه بر میزان بازدهی

پس از بررسی تأثیر انرژی ذرات آلفا بر بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری، اثر فاصله چشمه تا آشکارساز بر روی بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری ارزیابی گردید که نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است. این شکل بازدهی آشکارسازی مربوط به ذرات آلفای پلوتونیم-۲۳۹ و کوریم-۲۴۴ را برای فواصل مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۲. اثر فاصله چشمه تا آشکارساز بر روی بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری.

نتایج اثر اندازه آشکارساز بر میزان بازدهی

علاوه بر اندازه‌گیری بازدهی در فواصل مختلف و برای رادیونوکلیدهای مختلف، بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری برای آشکارسازهای با مساحت متفاوت نیز ارزیابی و اندازه‌گیری شد. جدول ۲ تغییرات بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری مربوط به ^{241}Am، ^{239}Pu و ^{244}Cm برای فواصل مختلف چشمه تا آشکارساز با دو مساحت مختلف mm^2 ۴۵۰ و mm^2 ۶۰۰ را نشان می‌دهد.

جدول ۲. بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری (بر حسب درصد) در فاصله‌های مختلف و با دو آشکارساز با مساحت مختلف.

رادیونوکلید	مساحت دتکتور	فاصله چشمه تا دتکتور (میلی‌متر)											
		۲	۶	۱۰	۱۴	۱۸	۲۲	۲۶	۳۰	۳۴	۳۸	۴۲	۵۲
Pu-239	۴۵۰ mm^2	۴۱/۶۰	۲۵/۰۵	۱۷/۱۰	۱۱/۳۲	۷/۷۹	۵/۵۱	۴/۲۱	۳/۲۹	۲/۶۰	۲/۱۸	۱/۷۷	۱/۱۸
Am-241		۴۰/۰۱	۲۶/۲۵	۱۶/۲۱	۱۰/۹۴	۷/۶۳	۵/۴۴	۴/۱۷	۳/۲۴	۲/۵۹	۲/۱۰	۱/۷۵	۱/۱۵
Cm-244		۴۰/۷۹	۲۶/۷۲	۱۶/۷۴	۱۱/۲۷	۷/۶۱	۵/۲۲	۴/۰۳	۳/۱۸	۲/۵۶	۲/۰۶	۱/۷۴	۱/۱۲
Pu-239	۶۰۰ mm^2	۴۳/۲۲	۳۰/۰۷	۲۰/۴۰	۱۴/۰۰	۱۰/۱۳	۷/۵۳	۵/۷۶	۴/۵۲	۳/۶۰	۲/۸۹	۲/۴۱	۱/۵۶
Am-241		۴۱/۴۰	۲۸/۳۰	۱۹/۵۲	۱۳/۳۷	۹/۷۴	۷/۱۱	۵/۵۴	۴/۴۶	۳/۵۵	۲/۷۶	۲/۳۰	۱/۵۱
Cm-244		۴۲/۶۲	۲۹/۶۰	۲۰/۱۱	۱۳/۵۷	۹/۸۵	۷/۴۲	۵/۶۶	۴/۳۱	۳/۳۸	۲/۸۰	۲/۲۷	۱/۵۰

همان‌طور که از نتایج نشان‌داده‌شده در جدول ۲ قابل مشاهده است، برای هر دو آشکارساز و برای هر سه رادیونوکلید، بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری با افزایش فاصله چشمه از آشکارساز، کاهش بسیار زیادی (حدود ۲۰ برابر) پیدا می‌کند که به علت کاهش زاویه فضایی بین چشمه و آشکارساز است.

در مورد آشکارساز کوچک‌تر در این مطالعه (mm^2 ۴۵۰)، در فواصل مختلف چشمه از آشکارساز بازدهی برای ^{239}Pu در حدود ۵/۴۷-۰/۷۱ درصد نسبت به بازدهی برای ^{241}Am و حدود ۵/۵۱-۱/۲۵ درصد نسبت به بازدهی برای ^{244}Cm بیشتر است. این اختلاف بازدهی در مورد ^{241}Am و ^{244}Cm در حدود ۴/۳۶-۰/۷۲ درصد است.

علاوه بر آن در مورد آشکارساز بزرگ‌تر (mm^2 ۶۰۰) در فواصل مختلف بازدهی برای ^{239}Pu در حدود ۶/۲۴-۱/۳ درصد نسبت به بازدهی برای ^{241}Am و حدود ۶/۳۹-۱/۴ درصد نسبت به بازدهی برای ^{244}Cm بیشتر است. این اختلاف

بازده در مورد ^{241}Am و ^{244}Cm در حدود ۵/۰۳-۰/۸۱ درصد برآورد می‌شود بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری با آشکارسازهای مختلف نیز به انرژی وابسته نخواهد بود.

همچنین به‌منظور مقایسه بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری برای دو آشکارساز با مساحت‌های مختلف چنانچه یک فاصله معین مانند ۲۲ میلی‌متر را درنظر بگیریم (فاصله چشمه تا آشکارساز) با توجه به نوع رادیونوکلید بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری با آشکارساز بزرگ‌تر حدود ۴۲-۳۰ درصد بیشتر از بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری با آشکارساز کوچک‌تر است. در نتیجه مشاهده می‌شود بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری به اندازه آشکارساز و به عبارتی دیگر به هندسه اندازه‌گیری بستگی زیادی دارد.

پایداری سیستم برای دو آشکارساز بررسی شد. در تمامی موارد سطح زیر قله (شمارش ثبت‌شده) برای هر سه رادیونوکلید با استفاده از خروجی نرم‌افزار INTERWINNER با یکدیگر مقایسه شد. این نرم‌افزار که به‌طور گسترده در جهان مورد استفاده قرار گرفته است توانایی کنترل همزمان ۳۲ ورودی داده از یک یا چند دستگاه را دارا است. این نرم‌افزار موتورهای آنالیز مختلفی برای انواع آشکارسازها دارد. این نرم‌افزار توانایی پیداکردن قله‌ها و تفکیک قله‌هایی که با هم تداخل دارند را دارا می‌باشد و کالیبراسیون یا مدرج‌سازی آن هم به‌صورت دستی و هم به‌صورت اتوماتیک انجام‌پذیر است.

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است تفاوت معناداری در مقادیر این پارامتر مشاهده نمی‌شود. این مسئله نشان‌دهنده پایداری سیستم از لحاظ الکترونیکی و همچنین توانایی آشکارساز در نگه‌داری میدان الکتریکی اعمال‌شده و جمع‌آوری بار می‌باشد.

جدول ۳. نتایج کنترل کیفی سیستم آلفا اسپکترومتری.

شماره آشکارساز	روز اول			روز دوم		
	سطح زیر منحنی قله keV ۵۱۵۶/۶	سطح زیر منحنی قله keV ۵۴۸۵/۶	سطح زیر منحنی قله keV ۵۸۰۴/۸	سطح زیر منحنی قله keV ۵۱۵۶/۶	سطح زیر منحنی قله keV ۵۴۸۵/۶	سطح زیر منحنی قله keV ۵۸۰۴/۸
آشکارساز ۱	۴۲۴۵۷/۱	۲۹۸۷۱/۴	۸۰۵۴/۹	۴۲۲۲۶/۵	۲۹۶۲۱/۹	۷۸۹۰/۳
آشکارساز ۲	۴۰۰۱۰/۸	۲۸۳۰۵/۲	۷۳۴۸/۹	۳۹۹۲۲/۶	۲۸۲۱۱/۱	۷۲۶۰/۸

بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده اختلاف در سطح زیر قله برای آشکارساز شماره ۱ در دو روز مختلف با بیشینه حدود ۱ درصد و برای آشکارساز شماره ۲ در حدود ۱/۲ درصد می‌باشد. این میزان اختلاف بسیار ناچیز است و نشان‌دهنده پایداری سیستم می‌باشد.

نتیجه‌گیری

آشکارسازی و اندازه‌گیری‌های هسته‌ای در حوزه‌های گوناگون علوم و صنایع هسته‌ای، از اهمیت بالایی برخوردار است. اما موضوع کلیدی در این زمینه استفاده از روش‌های دقیق، بهینه و کم‌هزینه است درحالی که در کنار آن‌ها تجهیزات موردنیاز هم در دسترس باشند. از اکتشاف و استخراج مواد اولیه در معدن تا فراوری و تولید سوخت هسته‌ای، مصرف سوخت در راکتورهای اتمی، پسمانداری سوخت‌های مصرف‌شده همچنین سایر انواع استفاده صلح‌آمیز از انرژی هسته‌ای نظیر رادیوداروها و رادیوایزوتوپ‌های صنعتی و پایش‌های محیطی و حفاظت پرتویی، اندازه‌گیری میزان مواد رادیواکتیو جزئی جدانشدنی از این فعالیت‌ها می‌باشد. در این راستا طیف‌سنجی آلفا به‌عنوان یکی از روش‌های شناسایی و اندازه‌گیری کمی رادیونوکلیدهای آلفازا همواره مورد توجه بوده است. از این‌رو بهینه‌سازی پارامترها و تعیین بهترین

شرایط عملکرد طیف‌سنجی آلفا نیاز مبرم و غیرقابل انکار برای اندازه‌گیری غلظت رادیواکتیو عناصر آلفازا در نمونه‌های مختلف است که در این تحقیق به آن پرداخته شد. نتایج این کار نشان دادند که بازدهی سیستم آلفا اسپکترومتری به انرژی ذرات آلفای گسیل‌شده از رادیونوکلیدهای آلفازا وابسته نیست اما به هندسه اندازه‌گیری، بستگی شدیدی دارد. برای داشتن بازدهی بالا باید تا جایی که امکان دارد نمونه به آشکارساز نزدیک باشد در غیر این صورت نیاز به زمان شمارش بیشتر و بهبود شرایط خلأ می‌باشد. هرچند روش‌های اندازه‌گیری مورداستفاده، روش‌های قوی و معتبر هستند اما تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس مدل‌سازی و روش تحلیلی برای فعالیت‌های آینده توصیه می‌گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی صمیمانه خود را از رئیس و پرسنل آزمایشگاه شناسایی و مشخصه‌یابی رادیونوکلیدها (آنالیز هسته‌ای سابق) پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای پژوهشگاه علوم و فنون که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

References

[1] Ryu, J., Park, J. Y., Lee, H. W., Kim, H., & Chae, J. S. (2021). Experimental characterization of alpha spectrometer for optimization of operational parameters affecting energy resolution and detection efficiency. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 329(2), 959-967. https://doi.org/10.1007/s10967-021-07821-w

[2] Bliznyuk, V. N., Kutsevol, N. V., Kuziv, Y. I., Husson, S. M., & DeVol, T. A. (2022). Efficient Retention and Alpha Spectroscopy of Actinides from Aqueous Solutions Using a Combination of Water-Soluble Star-like Polymers and Ultrafiltration Membranes. Polymers, 14(17), 3441. https://doi.org/10.3390/polym14173441

[3] L'Annunziata, M. F. (Ed.). (2012). Handbook of radioactivity analysis. Academic press. https://doi.org/10.1016/C2009-0-64509-8

[4] El Afifi, E. M., Hilal, M. A., & Attallah, M. F. (2021). Performance characteristics and validation of alpha particle spectrometers for radiometric analysis of natural and anthropogenic radionuclides of environmental impacts. Applied Radiation and Isotopes, 168, 109548. https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2020.109548

[5] Aggarwal, S. K. (2016). Alpha-particle spectrometry for the determination of alpha emitting isotopes in nuclear, environmental and biological samples: past, present and future. Analytical methods, 8(27), 5353-5371. https://doi.org/10.1039/C6AY00920D

[6] Adrian, P. J., Armstrong, J., Birkel, A., Chang, C., Dannhoff, S., Evans, T., ... & Frenje, J. A. (2022). In situ calibration of charged particle spectrometers on the OMEGA Laser Facility using 241Am and 226Ra sources. Review of Scientific Instruments, 93(11), 113534. https://doi.org/10.1063/5.0099752

[7] Ranjbar, H., & Yousefi, A. (2021). Investigation and measurement of factors affecting full width at half maximum (FWHM) in alpha spectrometry. Radiation Safety and Measurement, 10(4), 9-14. https://doi.org/10.22052/9.4.9

[8] Phong, T. H. N., Van, T. N., & Le Cong, H. (2018). Efficiency response of an aged PIPS detector used in high-resolution alpha-particle spectrometry. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 908, 128-135. https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.08.044

[9] Calin, M. R., Saizu, M. A., & Radulescu, I. (2014). Studies and assessments on the response of a high-performance spectrometer to alpha radiation. Romanian Reports in Physics, 66(2), 359-369. http://www.rrp.infim.ro/2014_66_2/A8.pdf

[10] Gascón, J., & Muñoz, A. (2003). Optimization of the parameters affecting the solid state detector efficiency in alpha-spectrometry. Journal of radioanalytical and nuclear chemistry, 257(2), 371-374. https://doi.org/10.1023/A:1024748232757