



مقیاس بندی بازده آشکارساز HPGe با اندازه گیری و محاسبه‌ی ضریب‌های تصحیح خودجذبی برای نمونه‌های محیطی

محبوبه لطفی*^۱، سیدمجتبی مستجاب‌الدعواتی^۲، بهزاد تیموری سیچانی^۳

۱. گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده علوم و فن آوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، صندوق پستی: ۷۳۴۴۱-۸۱۷۴۶، اصفهان - ایران

۲. دانشکده فیزیک، دانشگاه اصفهان، صندوق پستی: ۷۳۴۴۱-۸۱۷۴۶، اصفهان - ایران

۳. پژوهشکده‌ی تحقیقات و توسعه‌ی رآکتورها و شتاب‌دهنده‌ها، صندوق پستی: ۱۵۸۹-۸۱۴۶۵، اصفهان - ایران

چکیده: طیف‌بینی گاما برای چشمه‌های استاندارد مارینلی حاوی خاک، در چگالی‌های مختلف ($1-1.5 \text{ g cm}^{-3}$) با استفاده از آشکارساز HPGe انجام شد. طیف‌های حاصل به کمک نرم‌افزارهای مربوط تحلیل و سپس منحنی بازده-انرژی برای هر نمونه رسم شد. بازده‌های محاسبه شده در چگالی‌های مختلف با بازده نمونه‌ی مرجع مقایسه شده، ضریب‌های تصحیح خودجذبی برای چگالی‌های متفاوت، در گستره‌ی انرژی ۵۹-۱۴۰۸ keV به دست آمد. ضریب‌های تصحیح به دست آمده، در محاسبه‌ی پرتوزایی نمونه‌های مجهول با موفقیت به کار گرفته شد.

کلیدواژه‌ها: مقیاس بندی بازده، ضریب تصحیح خودجذبی، نمونه‌های محیطی، طیف‌بینی گاما

Efficiency Calibration of a HPGe Detector and Environmental Samples Measurement of Self-Absorption Correction Factors

M. Lotfi*¹, S.M. Mostajabodaavati², B.T. Sichani³

1. Department of Nuclear Engineering, Faculty of Advanced Sciences & Technologies, University of Isfahan, P.O.Box: 81746-73441, Isfahan - Iran

2. Department of Physics, University of Isfahan, P.O.Box: 81746-73441, Isfahan - Iran

3. Reactor & Accelerator Research & Development School, P.O.Box: 81465-1589, Isfahan - Iran

Abstract: Gamma spectroscopy was performed on Marinelli beaker standards containing soil with different densities of $\rho = 1$ to 1.5 gr cm^{-3} upon using a HPGe detector. The spectra were analyzed by a specific software and then the efficiency vs. energy was calculated for each sample. The calculated efficiencies for different densities were compared with the efficiency of the reference sample, and the self-absorption correction factors were calculated for soil samples in the range of 59-1408 keV energy. The obtained correction factors were applied successfully for the calculation of the activity of an unknown sample.

Keywords: Efficiency Calibration, Self-Absorption Correction Factor, Environmental Samples, Gamma Spectroscopy

**۱. مقدمه**

استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ داده شده است. این چشمه‌ها به لحاظ هندسه، پرتوژیایی و زمان ساخت یکسان بودند و تنها تفاوتشان در خودجذبی متفاوت ناشی از خاک متفاوت تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها بود. خاک درون این ظروف مارینلی، خاک معمولی نوشهر، خاک کوه، سنگ تراورتن، خاک مزرعه و شن ساحل بود که چگالی و درصد ترکیب‌های متفاوتی داشتند.

طیف این چشمه‌ها به وسیله‌ی برنامه‌ی IAP برای زمان واقعی ۳۶۰۰ ثانیه ثبت، و با استفاده از نرم‌افزار Maestro طیف مرحله‌ی پیشین مقیاس‌بندی شد. در ادامه، تجزیه و تحلیل طیف ثبت شده در مرحله‌های پیشین به کمک نرم‌افزار Omnigam انجام، و بعد از استخراج سطح‌های زیر قله، بازده برحسب انرژی برای هر نمونه، چنین محاسبه شد [۱]

$$\epsilon_r(E) = \frac{N}{ATP_\gamma} \quad (1)$$

که در آن، N سطح زیر قله‌ی تمام انرژی، T زمان شمارش، P_γ احتمال گسیل تابش با انرژی E، A فعالیت پرتوژیایی چشمه در طول زمان شمارش است.

چشمه‌ی حاوی خاک مزرعه با چگالی $1,137 \text{ gr cm}^{-3}$ به عنوان چشمه‌ی استاندارد مرجع انتخاب و سپس ضریب تصحیح خودجذبی برای هر نمونه در انرژی‌های مختلف، چنین محاسبه شد [۱، ۲، ۳، ۶، ۷]

$$C_s(E) = \frac{\epsilon(E, \text{standard})}{\epsilon(E, \text{sample})} \quad (2)$$

ضریب‌های تصحیح خودجذبی حاصل برای سه نمونه، در جدول ۲ داده شده‌اند.

جدول ۱. مشخصات چشمه‌های مارینلی

چشمه	فعالیت پرتوژیایی (Bq)	نوع خاک	کد چشمه	چگالی (gr cm^{-3})
^{241}Am	۱۷۲۸	خاک معمولی	Kh	۱
^{137}Cs	۳۳۶۰,۲	خاک کوه	Koh	۱,۳۱۸
		خاک مزرعه	Nm	۱,۱۳۷
^{152}Eu	۱۲۰۸,۷	خاک ساحل	Ns	۱,۴۷۷
		سنگ تراورتن	St	۱,۵

یک گام تعیین‌کننده در پژوهش‌های مربوط به تعیین مکان‌های آلوده به عناصر پرتوزا، اطلاع از بازده دقیق آشکارساز، به منظور محاسبه‌ی پرتوژیایی نمونه‌های مجهول است [۱]. تعیین دقیق بازده برای هر پیکربندی و شرایط معین، چشمه‌های استاندارد متعددی را می‌طلبد [۲] که فراهم کردن آن‌ها به لحاظ عملیاتی ممکن و مقرون به صرفه نیست [۳]. این امر منجر به اکتفا کردن به تعداد محدودی چشمه‌ی استاندارد می‌شود که پی‌آمد آن، نادیده گرفتن اثرات خودجذبی در این گونه مطالعه‌ها است [۴]. این، می‌تواند منجر به خطا در محاسبه‌های پرتوژیایی و کاهش حساسیت روش شود [۵].

برای حل چنین معضلی، تلاش‌های زیادی برای تصحیح خودجذبی در محاسبه‌های پرتوژیایی شده است [۳، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲]. یکی از روش‌های مطرح در انجام تصحیح‌های خودجذبی، استخراج ضریب‌های تصحیح است. برای این منظور راه‌کارهای متفاوتی موجود است [۷]:

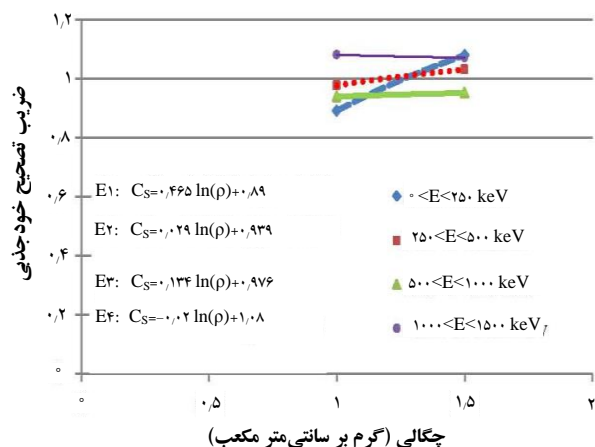
- روش‌های تجربی،
- استفاده از محاسبه‌های کامپیوتری و شبیه‌سازی،
- استفاده از روش‌های تحلیلی،

در این پژوهش، برای یک وضعیت هندسی مشخص، بازده برای چشمه‌ی استاندارد و نمونه‌ی مجهول در گستره‌ی انرژی مورد نظر تعیین شد. سپس نسبت این دو بازده به عنوان ضریب تصحیح خودجذبی، در انرژی‌های متفاوت برای نمونه‌ی مجهول محاسبه شد. این روند برای نمونه‌های مجهول با چگالی‌های متفاوت تکرار شد. به این ترتیب، ضریب تصحیح خودجذبی $(C_s)^{(1)}$ برای چگالی‌های مختلف در هر انرژی جمع‌آوری شد. نهایتاً از درون‌یابی اطلاعات حاصل، تابعی به صورت $C_s(p)$ برای گستره‌ی انرژی مورد نظر به دست آمد [۷].

البته لازم به ذکر است که نمونه‌های مجهول استفاده شده، در حقیقت، یک مجموعه نمونه‌ی استاندارد با خودجذبی‌های متفاوت بودند؛ در غیر این صورت محاسبه‌ی بازده نمونه‌ی مجهول امکان‌پذیر نمی‌شد.

۲. روش کار**۱.۲. برپایی تجربی**

آشکارساز استفاده شده، آشکارساز HPGe نوع n، مدل GMX-۱۰۱۸۰ بود. مشخصات چشمه‌های استاندارد مارینلی



شکل ۱. رابطه بین ضریب‌های تصحیح خودجذبی و چگالی چشمه‌های مارینلی.

جدول ۳. رابطه‌های محاسبه‌ی ضریب‌های تصحیح خودجذبی

انرژی (keV)	ضریب‌های تصحیح خودجذبی بر حسب چگالی: $Cs(p)$
۲۵۰-۰	$0.465 \ln(p) + 0.89$
۵۰۰-۲۵۰	$0.29 \ln(p) + 0.939$
۱۰۰۰-۵۰۰	$0.134 \ln(p) + 0.976$
۱۵۰۰-۱۰۰۰	$0.2 \ln(p) + 1.08$

جدول ۴. خطای نسبی محاسبه‌ی پرتوزایی برای چشمه‌ی استاندارد تراورتن

درصد خطا		انرژی (keV)
بدون استفاده از ضریب تصحیح	با استفاده از ضریب تصحیح	
۱۵.۴۵	۹.۳۶	۵۹.۵۴
۷.۳۰	۰.۶۲	۱۲۱.۷۸
۲.۷۳	۰.۰۴	۶۶۱.۶۶
۶.۴۰	۳.۷۳	>۱۰۰۰
۷.۹۷	۳.۴۴	میانگین کل

اطلاعات جدول ۴ حاکی از کاهش خطای محاسبه‌ی پرتوزایی و موفقیت روش است. به طور مشابه، اعتبارسنجی روش برای حالتی که نمونه‌ی تراورتن در محاسبه وارد شده و نمونه‌ی کوه در محاسبه دخیل نبود، تکرار شد و در این حالت نتایج برای وضعیتی که نمونه‌ی کوه مجهول فرض می‌شد محک زده شد. نتایج این حالت نیز مشابه نتایج حاصل از نمونه‌ی تراورتن بود.

جدول ۲. ضریب‌های تصحیح خودجذبی چشمه‌های مارینلی

انرژی (keV)	ضریب‌های تصحیح برای چشمه‌های:		
	kh	Koh	Ns
۵۹.۵۴	1.02 ± 0.1	1.64 ± 0.1	0.93 ± 0.1
۱۲۱.۷۸	0.89 ± 0.1	1.05 ± 0.1	0.89 ± 0.1
۷۷۸.۹۲	0.96 ± 0.2	1.03 ± 0.2	0.84 ± 0.2
۹۶۴.۰۷	0.94 ± 0.2	1.04 ± 0.2	0.85 ± 0.2
۱۱۱۲.۰۶	1.1 ± 0.2	0.97 ± 0.2	0.94 ± 0.2
۱۴۰۸.۰۱	1.05 ± 0.2	1.1 ± 0.2	0.93 ± 0.2

نهایتاً درون‌یابی اطلاعات به دست آمده، تابع‌هایی به صورت $Cs(p)$ برای گستره‌ی انرژی تحت مطالعه به دست داد (شکل ۱). این رابطه‌ها در جدول ۳ برای بازه‌های مختلف انرژی داده شده‌اند.

۳. یافته‌ها و بحث

برای بررسی نتایج به دست آمده، نمونه‌ی مجهولی با هندسه و شرایط این پژوهش نیاز بود تا با محاسبه‌ی پرتوزایی آن سودمندی ضریب‌های محاسبه شده ارزیابی شود. در این جا از نمونه‌ی پنجم (حاوی سنگ تراورتن با چگالی $1/5 \text{ gr cm}^{-3}$)، که در محاسبات وارد نشده بود، استفاده شد. مشخصات مربوط به این نمونه در جدول ۱ داده شده است. ابتدا چگالی نمونه‌ی موردنظر در رابطه‌های داده شده در جدول ۳ قرار داد شد و ضریب‌های تصحیح خودجذبی برای هر بازه‌ی انرژی محاسبه و سپس بازه نمونه‌ی استاندارد مرجع (نمونه‌ی حاوی خاک مزرعه) با ضریب‌های مذکور تصحیح و پرتوزایی چشمه‌ی تراورتن به عنوان نمونه‌ی مجهول محاسبه شد. چون نمونه‌ی مورد مطالعه در واقع نمونه‌ی استاندارد با پرتوزایی مشخص بود، امکان محاسبه‌ی خطای نسبی پرتوزایی، در مقایسه با پرتوزایی‌های واقعی فراهم شد. نتایج خطای نسبی محاسبه‌ی پرتوزایی نمونه‌ی حاوی خاک تراورتن، در انرژی‌های مختلف و هم‌چنین، در حالتی که ضریب‌های تصحیح خودجذبی بر بازه نمونه‌ی مرجع اعمال نشده است، در جدول ۴ داده شده است.



4. F. Jana, Uranium contamination of the Aral Sea, *Journal of Marine Systems*, 76 (2009) 322-335.
5. G.E. Knoll, *Radiation detector and measurement*, John Wiley & Sons, Inc, New York (2000).
6. I. Vukasinovic, D. Todorovic, D. Popovic, The dependence of Ge detectors efficiency on the density of the samples in gamma-ray spectrometry, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, 22 (2007) 58-63.
7. P. Jodlowski, Self-absorption correction in gamma-ray spectrometry of environmental samples, an overview of methods and correction values obtained for the selected geometries, *Faculty of Physics and Applied Computer Science*, 51 (2006) S21-S25.
8. Z.B. Alfassi, N. Lavi, The dependence of the counting efficiency of marinelli beakers for environmental samples on the density of the samples, *Applied Radiation and Isotopes*, 63 (2005).
9. S. Harb, K. Salahel Din, A. Abbady, Study of efficiency calibrations of HPGe detectors for radioactivity measurements of environmental samples, *Environmental Physics Conference*, (2008).
10. M.J. Vargas, A.F. Timon, N.C. Diaz, D.P. Sanchez, Monte Carlo simulation of the self-absorption corrections for natural samples in gamma-ray spectrometry, *Applied Radiation and Isotopes*, 57 (2002) 893-898.
11. F.L. Melquiadesa, C.R. Appoloni, Self-absorption correction for gamma spectrometry of powdered milk samples using Marinelli beaker, *Applied Radiation and Isotopes*, 55 (2001) 697-700.
12. I.J. Bostock, T.D. Taulbee, Automated efficiency calibration of HPGe spectrometers for in-vitro soil samples, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 422 (1999) 812-816.

نتایج حاکی از موفقیت روش به کار رفته و کاهش خطا در محاسبه‌ی پرتوزایی بود. به این ترتیب، به نظر می‌رسد که در کار تجربی، اگر مجموعه‌ی استاندارد با تعداد بیش‌تری نمونه فراهم شود، می‌توان خطای روش تجربی را تا حد مطلوب کاهش داد. در مجموع می‌توان روش فوق را برای به دست آوردن ضریب‌های تصحیح خودجذبی، روشی موفق و کارآمد گزارش کرد.

۴. نتیجه‌گیری

با به کارگیری یک مجموعه چشمه‌ی استاندارد با هندسه‌ی یکسان، با خودجذبی‌های متفاوت و مرجع قرار دادن یکی از این چشمه‌ها، ضریب‌های تصحیح خودجذبی در چگالی‌ها و انرژی‌های متفاوت محاسبه شد و رابطه‌هایی برای محاسبه‌ی ضریب تصحیح خودجذبی برحسب چگالی نمونه‌ی مجهول ارایه شد. رابطه‌های حاصل، برای نمونه‌های مجهول آزموده شد. به طور میانگین، در محاسبه‌ی پرتوزایی، ۵۳٪ کاهش خطا، مشاهده شد. کاهش رضایت‌بخش خطا کارآمدی روش را تأیید کرد. هم‌چنین انتظار می‌رود به کارگیری یک مجموعه نمونه‌ی استاندارد با گستره‌ی وسیع‌تری از انرژی و چگالی، بتوان میزان کاهش خطا و موفقیت روش را افزایش دهد.

پی‌نوشت

۱. Self-Absorption Correction Factor

مرجع‌ها

1. M.S. Mostajaboddavati, S. Hassanzadeh, H. Faghihian, M.R. Abdi, M. Kamali, Efficiency calibration and measurement of self-absorption correction for environmental gamma spectroscopy of soil samples using Marinelli beaker, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 268 (2006) 539-544.
2. Y.S. Selim, M.I. Abbas, Source-detector geometrical efficiency, *Radiation Physics and Chemistry*, 44 (1994) 1-4.
3. G.L. Molnar, Zs. Revay, T. Belgya, Wide energy range efficiency calibration method for Ge detectors, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 489 (2002) 140-159.