مجموعه مقالات
چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹٤، پژوهشکده کشاورزی هسته ای)
The 4th National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

بهینه‌سازی اندازه ظروف مارینلی برای اندازه‌گیری رادیونوکلئیدهای طبیعی در نمونه‌های محیطی توسط کد MCNP

فاطمه دولتشاه[1*]، داوود رهی[2]
۱-سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشکده راکتور، گروه پژوهشی تسهیلات کاربردی، ۲-دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه مهندسی هسته‌ای، نویسنده مسئول:fatemehdolatshah@yahoo.com

چکیده:اندازه‌گیری دقیق رادیونوکلئیدهای طبیعی در نمونه‌های محیطی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین، همه‌ی پارامترها باید به دقت بهینه شده باشند. در این تحقیق با استفاده از کد مونت-کارلوی MCNP، ظروف مارینلی بهینه برای اندازه‌گیری رادیونوکلئیدهای طبیعی در نمونه‌های محیطی به وسیله آشکارساز HPGe n-type، طراحی شده است. بدین منظور ۳ رادیونوکلئید طبیعی ^{238}U، ^{232}Th و ^{40}K در نظر گرفته شده و با توجه به انرژی پرتوی گامای گسیلی از هر کدام، ۳ پارامتر طول مارینلی، H، ضخامت مارینلی، R و ارتفاع ظرف مارینلی، H1 تغییر داده شده است تا بهینه‌ترین اندازه ظرف مارینلی برای اندازه‌گیری هر رادیونوکلئید یافت شود. به طور کلی، اگر اندازه ظرف مارینلی کوچک انتخاب شود، بازدهی سیستم آشکارسازی، بالاتر از ظرف مارینلی بزرگ است. ولی باعث بالا رفتن مدت زمان مورد نیاز برای طیف‌گیری می‌شود.

واژگان کلیدی: آشکارساز HPGe، رادیونوکلئیدهای طبیعی، بازده آشکارساز، بهینه‌سازی ظرف مارینلی

fatemehdolatshah@yahoo.com:

Abstract:

The accurate measurement of natural radionuclides in environmental samples is very important. Therefore, the all of parameters must be optimmum. In this research by use of Monte Carlo code MCNP, optimized marinelli beaker have been designed for measurement of natural radionuclides by HPGe n-type detector. Thus 3 natural radionuclides of ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K were considered and respect to their emitted gamma energy, 3 parameters have been optimized for mareinelli beaker. These parameters are length of marinelli (H), diameter of marinelli (R) and height of marinelli (H1). The results showed 49%, 45% and 46% increase in measurement respectively for ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K. In generally, efficiency of small marinelli beaker is greater than large marinelli beaker.

Keywords: HPGe detector, Natural radionuclides, Efficiency of detector, Optimization of marinelli beaker

-مقدمه

محیط اطراف ما در برگیرنده مقادیر بسیار کمی از رادیونوکلئیدهای طبیعی با نیمه عمرهای طولانی است که چشمه‌های پرتوزای طبیعی محیط محسوب می‌شوند. حضور این رادیونوکلئیدها در محیط، ممکن است سبب بروز اختلالاتی در ساختار حیاتی انسان بشود. مثلا جذب دز گاما و پرتوگیری ریه از طریق استنشاق گاز رادون و دخترهسته‌های آن یکی از این موارد می‌باشد. بنابراین آگاهی از میزان حضور این عناصر در محیط اطراف، دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد [2 , 1].

برای اندازه‌گیری رادیونوکلئیدهای طبیعی از قبیل ^{238}U، ^{232}Th و ^{40}K در نمونه‌های محیطی، از ظروف مارینلی و معمولا آشکارسازهای نیمه‌رسانای HPGe استفاده می‌شود [2 , 1]. به طور معمول فعالیت این عناصر در محیط بسیار پایین است. در نتیجه خطای حاصل از اندازه‌گیری این عناصر بالا خواهد بود. بنابراین باید از سیستمی با حداکثر بازدهی استفاده شود تا کمترین خطا در میزان اندازه‌گیری ایجاد شود. بازده سیستم آشکارسازی برای پرتوی گامایی با انرژی E_γ از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$\varepsilon(E_\gamma)=\frac{N}{A\times T\times P_\gamma} \qquad (۱)$$

N سطح زیر پیک منطبق بر انرژی E_γ از چشمه، A فعالیت معلوم چشمه، P_γ احتمال واپاشی انرژی E_γ و T مدت زمان طیف‌گیری است [3].

در اندازه‌گیری‌های محیطی برای اینکه خطای شمارش کاهش یابد، باید تعداد شمارش افزایش یابد. با توجه به رابطه (۱)، فقط ۲ کمیت زمان و بازده برای تغییر وجود دارد. با بالا بردن زمان، سرعت انجام اندازه‌گیری‌ها کاهش و در نتیجه هزینه‌ها بالا می‌رود. بنابراین بازده سیستم آشکارسازی باید تا حد ممکن بالا برود. یکی از بهترین راهکارها، استفاده از ظروف مارینلی بهینه است. در هنگام طیف‌سنجی، به منظور افزایش زاویه فضایی و کاهش جذب پرتوهای گاما توسط هوا، ظروف مارینلی باید در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به آشکارساز HPGe قرار داشته باشند. بدین منظور ظروف بر روی سر آشکارساز قرار گرفته و شعاع آن‌ها باید تا حد امکان نزدیک به سر آلومینیومی آشکارساز باشد [5 , 4]. پس برای ظرف مارینلی، ۳ پارامتر دیگر برای تغییر وجود دارد: ۱-طول ظرف، (H) ۲-ضخامت ظرف ، (R) و ۳-ارتفاع ظرف مارینلی، (H1) (شکل ۱). با تغییر پارامترهای H، R و H1 و بهینه نمودن آن‌ها، بهینه‌ترین اندازه یا به عبارتی بالاترین بازده برای سیستم آشکارسازی بدست خواهد آمد [6].

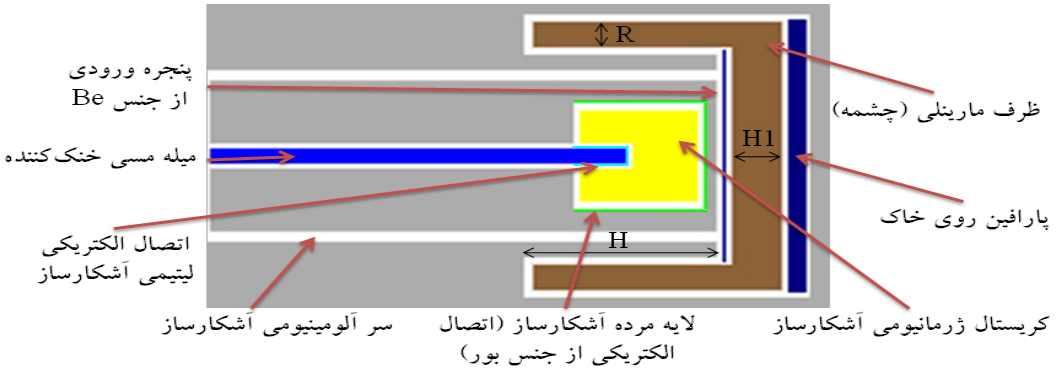
۲-روش کار

۲-۱-نحوه شبیه‌سازی

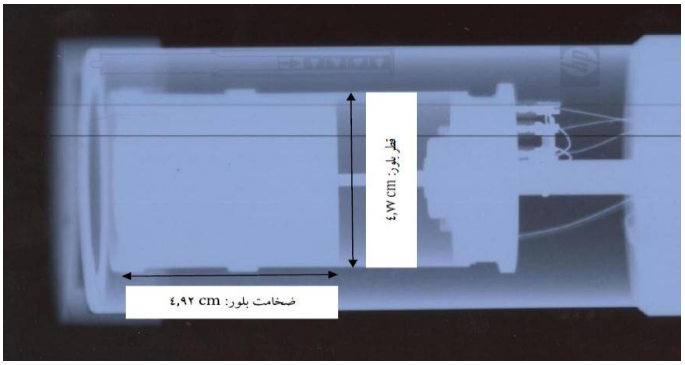
برای بهینه کردن اندازه ظرف مارینلی، از روش مونت‌کارلو استفاده می‌شود. بدین منظور یک عکس رادیوگرافی از سر آشکارساز HPGe n-type گرفته تا اندازه دقیق اجزای داخلی تعیین شود (شکل ۱). در کد MCNP، کریستال ژرمانیومی، میله مسی خنک‌کننده، لایه مرده (به ضخامت ۲,۵ mm)، اتصالات الکتریکی از جنس B و Li، سر آلومینیومی آشکارساز به ضخامت ۳ mm، پنجره ورودی از جنس Be به ضخامت ۰,۵ mm، لایه پارافین ۱ سانتی‌متری و ظرف مارینلی (چشمه) به چگالی $1\ g/cm^3$ وارد می‌شود (شکل ۲).

مواد داخل ظرف مارینلی، به طور عمده اجزای تشکیل‌دهنده خاک کشاورزی از قبیل Al_2O_3، SiO_2، $CaCO_3$، Fe_2O_3 تعریف شد. همچنین به طور معمول برای حفظ هندسه خاک و قطع ارتباط خاک با هوای بیرون، برای به تعادل

رسیدن رادیونوکلئیدها با دخترهسته‌ها، پارافین روی خاک ریخته می‌شود. البته به منظور جلوگیری از نفوذ پارافین به خاک، یک ورقه نازک آلومینیومی، بین آن‌ها قرار می‌گیرد.



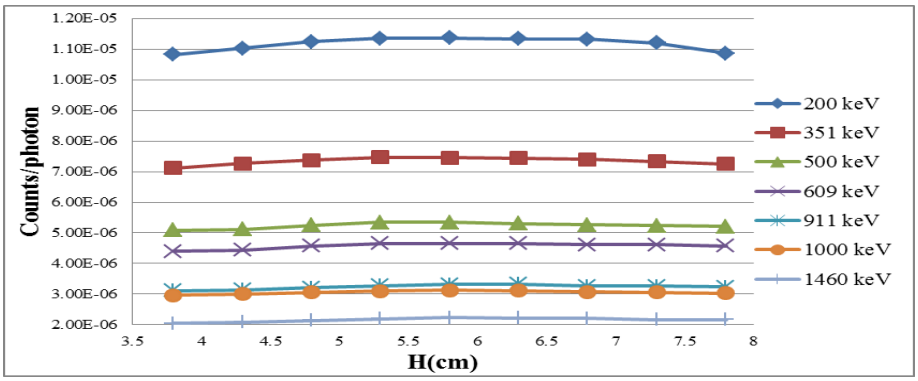
شکل ۱: نمایی از سیستم آشکارساز شبیه‌سازی شده در کد MCNP



شکل ۲: عکس رادیوگرافی از سر آشکارساز HPGe n-type

۲-۲-بهینه‌سازی طول مارینلی، H

ابتدا پارامترهای R و H1 را مطابق با اندازه ظرف اصلی ثابت فرض کرده و پارامتر طول مارینلی، H را تغییر داده تا بهینه‌ترین طول برای مارینلی محاسبه شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی را در شکل ۳ می‌توانید ملاحظه بفرمایید.



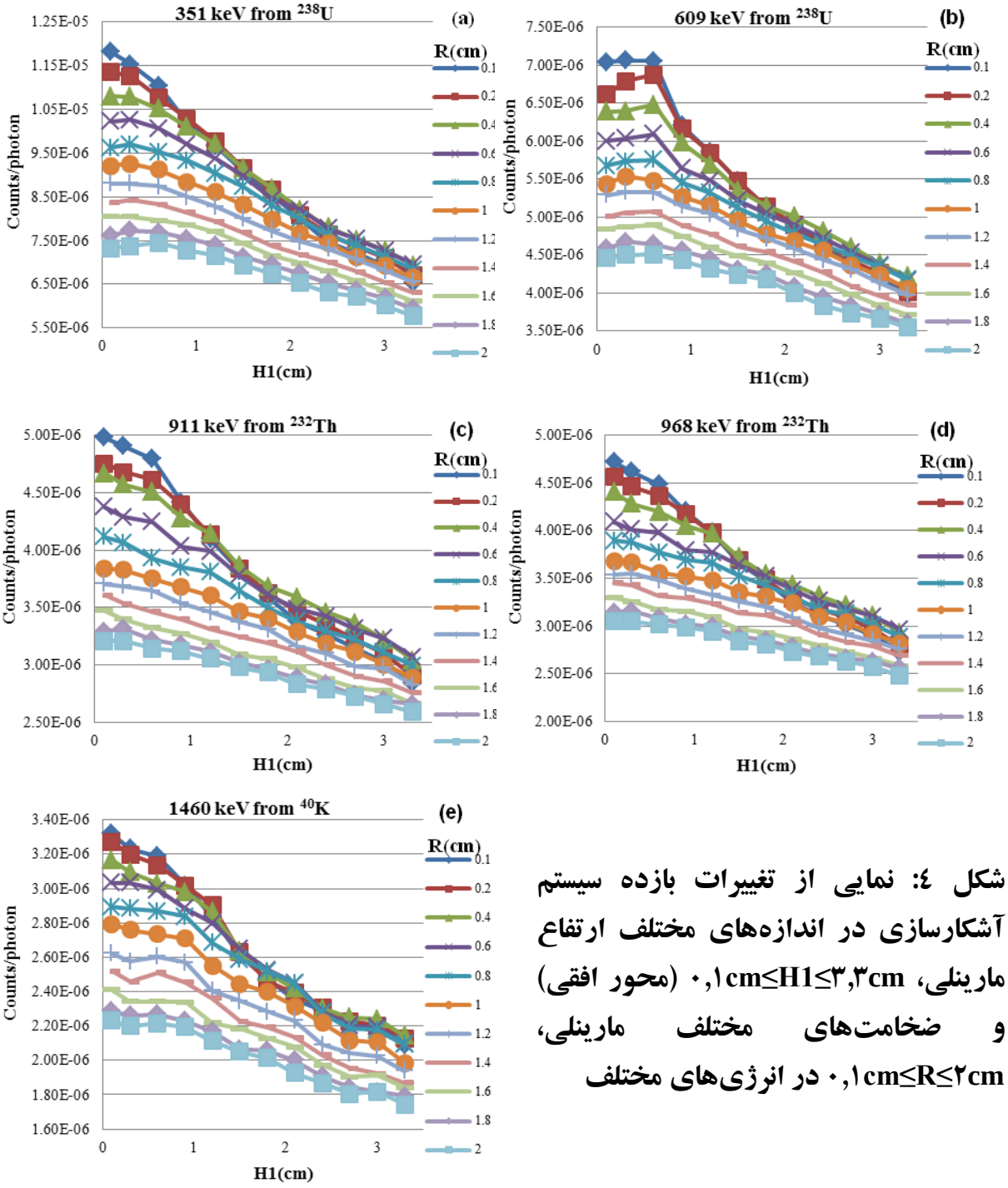
شکل ۳: تغییرات بازده نسبی اندازه‌گیری شده در برابر طول ظرف مارینلی

نتایج نشان‌دهنده این موضوع است که طول ظرف مارینلی، H نباید از طول کریستال کوتاه‌تر یا بلندتر باشد. یا به عبارتی طول مارینلی، H باید برابر طول کریستال ژرمانیومی آشکارساز باشد. این موضوع تاثیری ۲٪ تا ۴٫۵٪ در افزایش بازده در انرژی‌های مورد اندازه‌گیری دارد. علت آن به این خاطر است که اگر طول ظرف مارینلی کوتاه‌تر از کریستال ژرمانیومی آشکارساز باشد، احتمال گسیل یا به عبارتی از فعالیت نمونه‌ها کاسته می‌شود. همچنین اگر طول ظرف مارینلی بلندتر از طول کریستال ژرمانیومی آشکارساز باشد، شانس فوتون‌ها برای جذب در کریستال آشکارساز کم می‌شود. بنابراین در دیگر مراحل بهینه‌سازی، طول مارینلی، H را برابر با ۵٫۸ cm قرار داده و دیگر محاسبات انجام می‌شود.

۲-۳-بهینه‌سازی ضخامت مارینلی، R و ارتفاع مارینلی، H1 برای اندازه‌گیری ^{238}U، ^{232}Th و ^{40}K

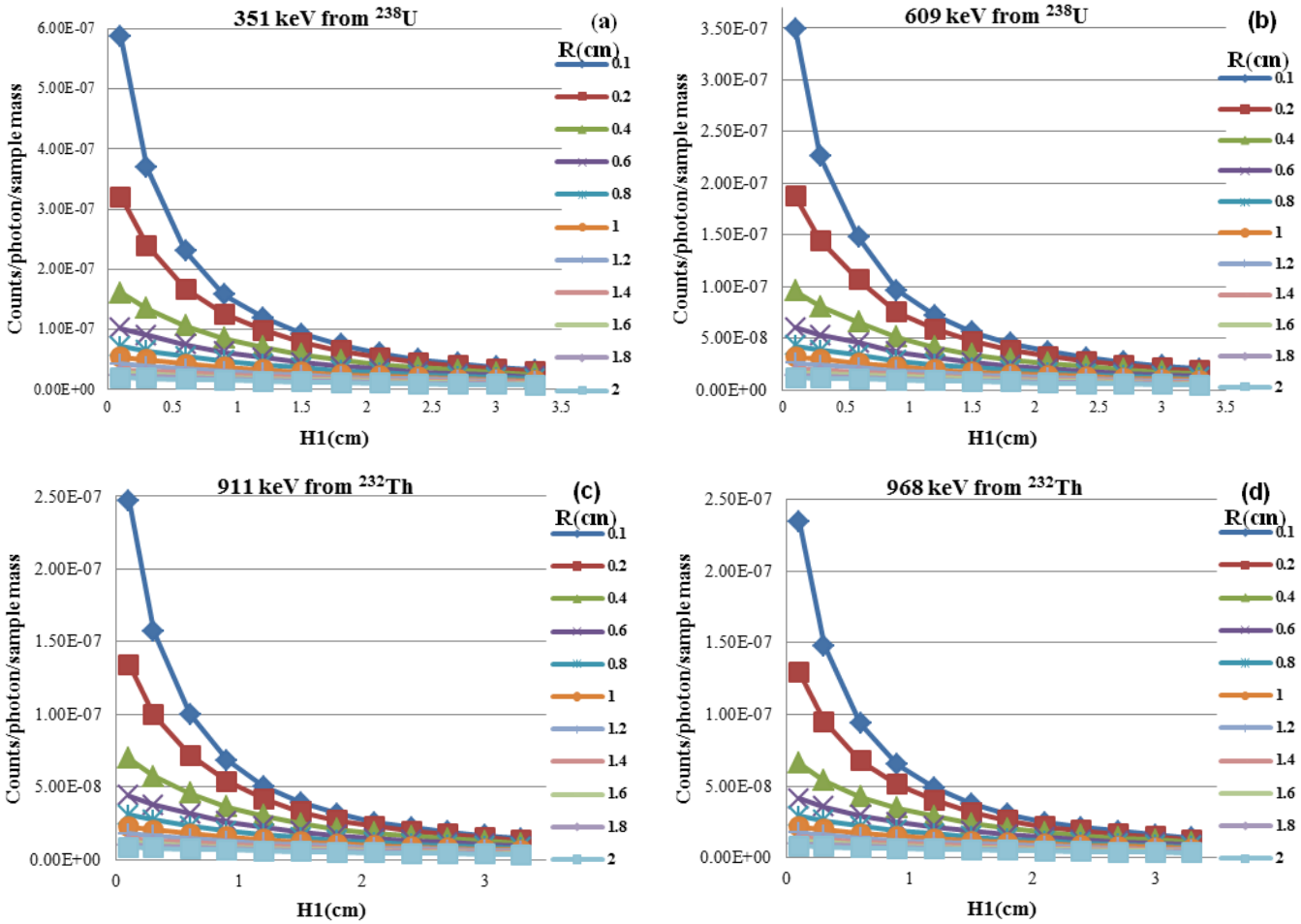
برای اندازه‌گیری فعالیت عناصر پرتوزای طبیعی ^{238}U و ^{232}Th از انرژی‌های گسیلی از دخترهسته‌های در حال تعادل با آن‌ها، استفاده می‌شود. به طور معمول برای اندازه‌گیری ^{238}U از انرژی‌های keV ۳۵۱ از ^{214}Pb و keV ۶۰۹ از ^{214}Bi و برای اندازه‌گیری ^{232}Th از انرژی‌های keV ۹۱۱ و keV ۹۶۸ از ^{228}Ac استفاده می‌شود. ولی برای اندازه‌گیری فعالیت ^{40}K از انرژی keV ۱۴۶۰ گسیلی از خود آن استفاده می‌شود.

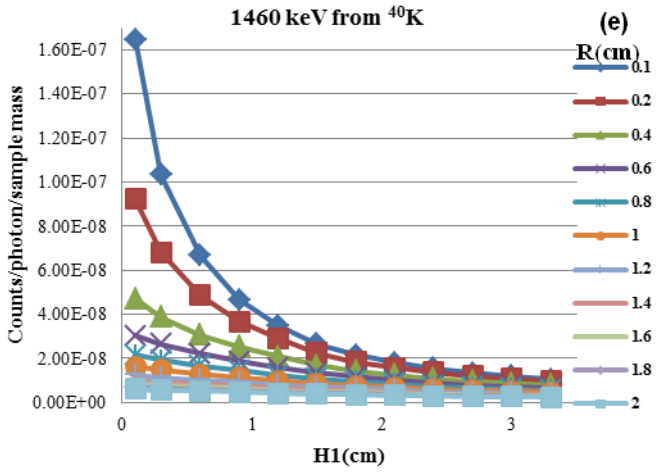
بنابراین برای بهینه‌سازی اندازه ظرف مارینلی، همان‌طور که در بالا گفته شد ابتدا طول ظرف مارینلی، H را برابر ۵٫۸ سانتی‌متر فرض کرده و سپس ضخامت ظرف، R و ارتفاع ظرف، H1 را از کوچکترین اندازه ممکن تا اندازه‌ای نسبتا بزرگ تغییر داده و بازده نسبی آشکارساز، در اندازه‌های مختلف و انرژی‌های ذکر شده محاسبه می‌شود. نتایج در شکل ۴a-e آمده است.



شکل ٤: نمایی از تغییرات بازده سیستم آشکارسازی در اندازه‌های مختلف ارتفاع مارینلی، ۰,۱cm≤H1≤۳,۳cm (محور افقی) و ضخامت‌های مختلف مارینلی، ۰,۱cm≤R≤۲cm در انرژی‌های مختلف

همان‌گونه که در شکل‌های ۴a-e مشهود است، به طور کلی با افزایش اندازه مارینلی، بازده سیستم آشکارسازی به دلیل اثرات خودجذبی، کاهش می‌یابد. در شکل‌های ۴a و ۴b که به ترتیب برای انرژی‌های ۳۵۱ keV و ۶۰۹ keV است، مشاهده می‌شود که برای ارتفاع‌های کم و شعاع‌های زیاد، بازده سیستم آشکارسازی دوباره افت پیدا می‌کند. ولی این پدیده برای دیگر انرژی‌ها رخ نمی‌دهد. علت آن به خاطر خودجذبی بیشتر انرژی‌های ۳۵۱ keV و ۶۰۹ keV نسبت به انرژی‌های بالاتر است. نمودارهای شکل ۴a-e نسبت به جرم نمونه بهنجار شده و می‌توانید در شکل ۵a-e مشاهده نمایید.





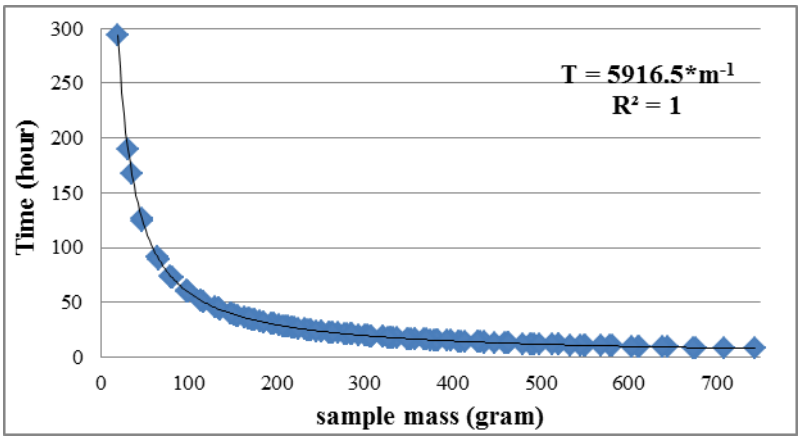
شکل ۵: نمودارهای بهنجار شده نسبت به جرم برای بررسی اثر اندازه ظرف مارینلی بر روی بازده سیستم آشکارسازی برای ۰,۱cm≤H1≤۳,۳cm (محور افقی) و ضخامت‌های مختلف مارینلی، ۰,۱cm≤R≤۲cm در انرژی‌های مختلف

در شکل‌های 5a-e، بازده سیستم آشکارسازی نسبت به جرم ظرف مارینلی بهنجار شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش جرم نمونه، تاثیر اندازه ظرف مارینلی به طور چشم‌گیری از بین می‌رود. این موضوع نشان دهنده این است که با بزرگ شدن ظرف مارینلی، بازده به خاطر اثر خودجذبی به طور محسوسی افت پیدا می‌کند.

۳-نتیجه‌گیری

بنابر محاسبات انجام شده، برای این آشکارساز، اگر طول مارینلی، H=۵,۸ cm و همچنین ضخامت مارینلی، R و ارتفاع مارینلی، H1 هر میزان کوچکتر باشد، بازده بالاتر یا به عبارتی خطای کمتر، در حین اندازه‌گیری حاصل می‌شود.

شاید این ذهنیت شکل بگیرد که ضخامت و ارتفاع مارینلی در کوچک‌ترین اندازه ممکن انتخاب شود تا بالاترین بازده حاصل شود. ولی فعالیت نمونه با جرم نمونه مورد اندازه‌گیری رابطه مستقیم دارد. به عبارتی میزان فعالیت نمونه مورد اندازه‌گیری با کاهش جرم نمونه، کاهش می‌یابد. این عامل تاثیر مستقیم بر روی آهنگ شمارش دارد و باعث بالا رفتن مدت زمان مورد نیاز برای شمارشی بالا می‌شود. به طور مثال، ظرف‌های مارینلی موجود در آزمایشگاه، گنجایشی در حدود ۵۰۰ g داشت. برای اینکه یک اندازه‌گیری، با دقتی خوب انجام شود، در حدود ۱۲ ساعت طیف‌گیری می‌شود. با این فرض می‌توانید رابطه بین جرم نمونه و مدت زمان مورد نیاز برای طیف‌گیری بر حسب ساعت را در شکل ۶ ملاحظه نمایید.



شکل ٦: رابطه بین جرم نمونه مورد اندازه‌گیری و مدت زمان مورد نیاز برای طیف‌گیری

با توجه به شکل ۶، برای اینکه بالاترین بازده یا به عبارتی حداقل خطا در بازده حاصل شود، مدت زمان شمارش به طور قابل توجه‌ای بالا می‌رود. با این تفاسیر، برای انتخاب اندازه ظرف باید پارامترهای زمان، دقت اندازه‌گیری بازده و هزینه‌های آزمایشگاهی را درنظر گرفت.

٤-مراجع

[1]. H. Faghihian, D. Rahi, M. Mostajaboddavati," Study of natural radionuclides in Karun river region" J Radioanal Nucl Chem DOI 10.1007/s10967-011-1496-x

[2]. Jaison TJ, Patra AK, Jha MK, Hegde AG (2010) Assessment of natural radioactivity in silt samples from Moticher lake near Kakrapar Atomic Power Station, India. Radioanal Nucl Chem 284:583–589

[3]. Mostajaboddavati M, Hassanzadeh S, Faghihian H, Abdi MR, Kamali IM (2006) Efficiency calibration and measurement of self-absorption correction for environmental gamma spectroscopy of soil samples using Marinelli beaker. Radioanal Nucl Chem 268(3):539–544

[4] Asm SabbirAhmed, KevinCapello, AlbertChiang, ErickCardenas-Mendez, GaryH.Kramer, "Optimization of geometric parameters for Marinelli beaker to maximize the detection efficiency of an HPGe detector" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 610 (2009) 718–723

[5]. Raphael Wesley Damon (2005), "Determination of the photopeak detection efficiency of a HPGe detector, for volume sources, via Monte Carlo simulations" Dissertation submitted in fulfilment of the requirements for the Master of Science Degree in Physics at the University of the Western Cape

[6]. Debertin K, Helmer RG (2001) Gamma and X-ray spectrometry with semiconductor detectors. Elsevier Science, Amsterdam