



## مجموعه مقالات

چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

### بررسی ضرایب خودجذبی و ضرایب تصحیح خودجذبی در نمونه‌های خاکی، آبی و گیاهی محیطی حجم حاوی رادیونوکلئیدهای طبیعی گاما

فاطمه دولتشاه<sup>۱\*</sup>، داوود رهی<sup>۲</sup>

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:** در این تحقیق ضرایب خودجذبی و ضرایب تصحیح خودجذبی در نمونه‌های خاکی، آبی و گیاهی محیطی حجم حاوی رادیونوکلئیدهای طبیعی گاما مورد بررسی قرار گرفته است. به این ترتیب که منحنی بازده آشکارساز HPGe برای نمونه استاندارد در آزمایشگاه به دست آمده است. سپس کل سیستم آشکارسازی در کد MCNP شبیه‌سازی و سپس مقادیر ضرایب خودجذب و تصحیح خودجذب تعیین گردید. نتایج حاصله حاکی از مؤثرتر شدن این ضرایب با کاهش انرژی و افزایش چگالی است. در نهایت رویه بازده بر حسب انرژی و چگالی برای نمونه خاک به دست آمده است.

**واژگان کلیدی:** آشکارسازهای نیمه‌رسانا، HPGe، چگالی، خودجذبی.

### Investigation of self-absorption factor and self-absorption correction factor in sediment, water, and plant volume samples that containing natural radionuclides

Fatemeh Dolatshah<sup>1</sup>, Davood Rahi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Atomic energy organization of Iran, Reactor research

<sup>2</sup>Department of Nuclear Engineering, Faculty of Advanced Sciences and Technologies, University of Isfahan

: fatemehdolatshah@yahoo.com

**Abstract:** In this research, the effect of density on efficiency of High-Purity germanium (HPGe) detector has been investigated for volume environmental samples. First, the absolute efficiency of HPGe (n-type) detector has been determined by using standard sample with a density of 1.2 g/cm<sup>3</sup> in the laboratory. The whole of detection system has been simulated by MCNP code, and self-absorption and self-absorption correction factors have been obtained in this way. The results are shown that these factors are more effective in low energies and high densities. In the end, surface of absolute efficiency of HPGe has been obtained with respect to energy and density.

**Keywords:** Semiconductor detectors, HPGE, Density, Self-absorption

#### –مقدمه

برای بررسی میزان رادیونوکلئیدهای طبیعی در محیط، به طور معمول از آشکارسازهای HPGe استفاده می‌شود. بازده در انرژی‌های مختلف از رابطه (۱) به دست می‌آید [1].



## مجموعه مقالات

چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

$$\varepsilon(E) = \frac{N(E)}{t \times m \times A \times p(E)} \quad (1)$$

که در آن  $N(E)$  و  $p(E)$  میزان شمارش و احتمال واپاشی در انرژی  $E$  است. همچنین  $t$ ،  $m$  و  $A$  به ترتیب زمان شمارش، جرم نمونه و فعالیت نمونه استاندارد است.

برای اندازه‌گیری فعالیت مطلق نمونه‌های محیطی، نیاز به یک نمونه استاندارد می‌باشد. نمونه استاندارد ایده‌آل، نمونه‌ای است که دارای چگالی صفر باشد. به عبارتی خودجذبی آن صفر باشد. ولی این امر در واقعیت امکان‌پذیر نیست. در واقعیت نمونه استاندارد دارای یک چگالی معینی است. ولی نمونه‌های مورد اندازه‌گیری به طور معمول دارای چگالی متفاوت با نمونه استاندارد هستند. این امر منجر به خودجذبی‌های متفاوت می‌شود. بنابراین منحنی بازده نیاز به اصلاحاتی دارد که عامل چگالی در آن وارد شود [2]. در این تحقیق این کار به کمک کد MCNP انجام شد. زیرا در آن می‌توان نمونه استاندارد ایده‌آل (چگالی برابر با صفر) را تعریف کرد [3, 4].

### ۲- روش کار

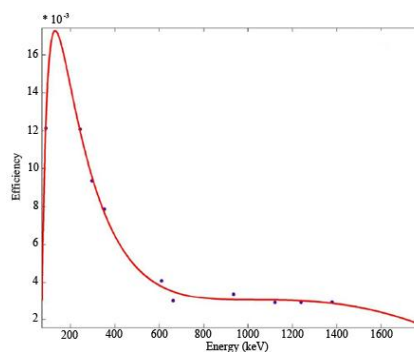
#### ۲-۱- نمونه خاک محیطی

نمونه استاندارد استفاده شده، دارای چگالی  $1.2 \text{ g/cm}^3$  و حاوی عناصر موجود در جدول ۱ است.

جدول ۱: عناصر موجود در نمونه استاندارد

Radionuclide	Activity concentration ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )	Correlation ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )
$^{90}\text{Sr}$	30.34	31.67-24.20
$^{137}\text{Cs}$	53.65	57.91-51.43
$^{226}\text{Ra}$	79.9	93.4-69.6
$^{239+240}\text{Pu}$	1.04	1.11-0.96

بعد از طیف‌گیری از نمونه استاندارد، منحنی بازده آشکارساز بر حسب انرژی به دست آمد (شکل ۱) [5].



شکل ۱: منحنی بازده بر حسب انرژی برای نمونه‌های خاک

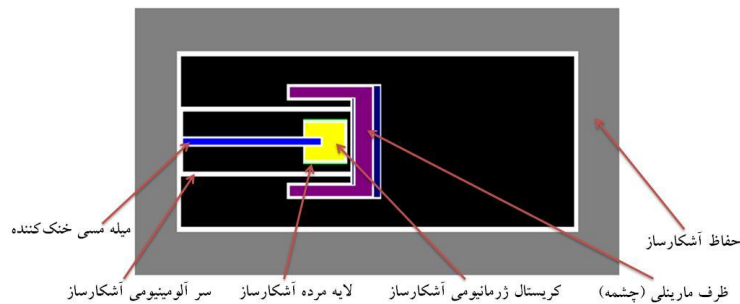


## مجموعه مقالات

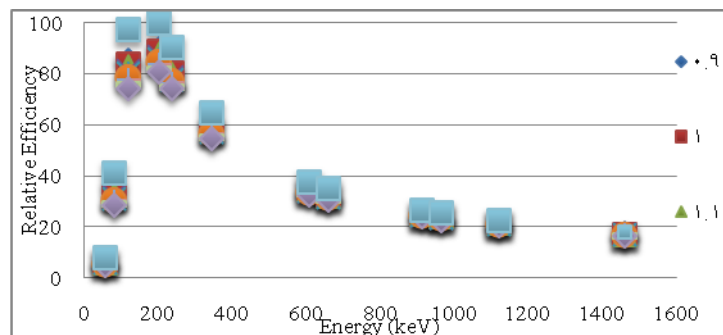
چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

با استفاده از کد MCNP، آشکارساز را در اندازه‌های کاملاً واقعی شبیه‌سازی کرده و بازده نسبی در چگالی‌های ۰٫۹ تا ۱٫۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب و صفر (نمونه استاندارد ایده‌آل) برای نمونه خاک به دست آمد (شکل ۲ و ۳).



شکل ۲: هندسه تعریف شده در کد MCNP



شکل ۳: تغییرات بازده نسبی بر حسب انرژی در چگالی‌های مختلف

ضرایب خودجذب و تصحیح خود جذب از رابطه (۲) به دست می‌آید [2].

$$\alpha(E, \rho) = \frac{\varepsilon(E, \rho)}{\varepsilon_s(E, \rho_s)} \quad (2)$$

$\alpha$  ضریب خودجذب،  $\rho$  و  $\rho_s$  به ترتیب چگالی نمونه مورد اندازه‌گیری و نمونه استاندارد و  $\varepsilon$  و  $\varepsilon_s$  به ترتیب بازده نسبی در نمونه مجهول و نمونه استاندارد است.

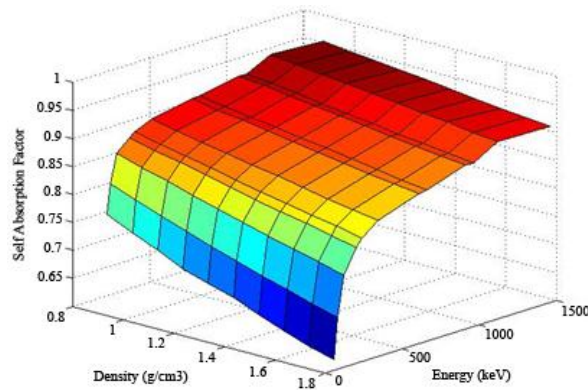
رویه ضرایب خود جذب نسبت به نمونه استاندارد ایده‌آل (یعنی با چگالی صفر) برای نمونه‌های خاک با استفاده از رابطه (۲) حساب می‌شود (شکل ۴).



## مجموعه مقالات

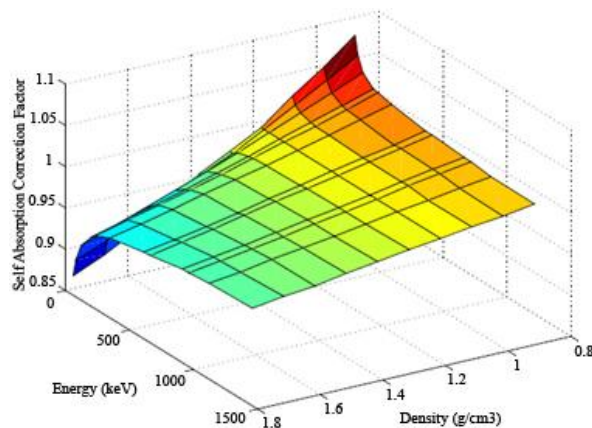
چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)



شکل ۴: رویه ضرایب خودجذب نسبت به نمونه استاندارد ایده‌آل بر حسب انرژی و چگالی

ولی در عمل نمونه استاندارد خاک، دارای چگالی  $1.2 \text{ g/cm}^3$  است. ضرایب تصحیح خودجذب نسبت به نمونه استاندارد واقعی با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید (شکل ۵).



شکل ۵: رویه ضرایب تصحیح خودجذب برای نمونه استاندارد استفاده شده بر حسب انرژی و چگالی

همان‌طور که از شکل‌های ۳ و ۴ مشهود است، با کاهش انرژی و افزایش چگالی، این ضرایب مؤثرتر می‌شوند [3, 4].

بنابراین منحنی بازده آشکارساز باید اصلاح شود. به عبارتی [1]:

$$\varepsilon(E, \rho) = \varepsilon(E) \times \alpha(E, \rho) \quad (3)$$

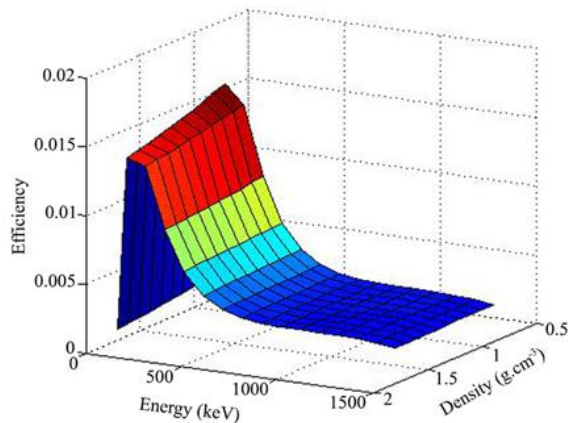
بنابراین رویه بازده بر حسب انرژی و چگالی برای نمونه خاک با استفاده از رابطه (۳) به دست می‌آید (شکل ۶).



## مجموعه مقالات

چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)



شکل ۶: روبه بازده آشکارساز بر حسب انرژی و چگالی

### ۲-۲- نمونه‌های آب

چگالی آب برابر با  $1 \text{ g/cm}^3$  است. بنابراین در نظر گرفتن ضرایب تصحیح خودجذبی برای نمونه‌های آب لازم نمی‌باشد.

### ۲-۳- نمونه گیاهی

مهم‌ترین منابع غذایی انسان‌ها، گیاهان و میوه‌ها می‌باشد. بنابراین بررسی میزان رادیونوکلیدهای طبیعی در گیاهان و میوه‌ها بسیار مهم می‌باشد. عمده عناصر تشکیل دهنده میوه‌ها و گیاهان اکسیژن، هیدروژن، کربن و مقدار بسیار کمی عناصر معدنی (کمتر از ۰٫۰۱٪) است.

برای محاسبه ضرایب خودجذبی، بازه‌ی تغییرات چگالی برای نمونه‌های گیاهی از  $0,1 \text{ g/cm}^3$  تا  $0,8 \text{ g/cm}^3$  در نظر گرفته می‌شود. چگالی نمونه‌ی استاندارد  $0,3 \text{ g/cm}^3$  در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۱ می‌توانید ضرایب تصحیح خودجذبی برای نمونه استاندارد گیاهی مشاهده نمایید.



## مجموعه مقالات

چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

### جدول ۱: ضرایب تصحیح خودجذبی برای نمونه استاندارد گیاهی

		چگالی $\text{g/cm}^3$							
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
انرژی (keV)	59	0.50%	0.11%	0%	-1.46%	-2.53%	-4.13%	-5.18%	-5.55%
	81	2.67%	1.55%	0%	-1.09%	-3.03%	-4.77%	-6.04%	-7.81%
	121	3.06%	1.61%	0%	-1.21%	-2.85%	-4.15%	-5.35%	-6.60%
	202	2.47%	1.14%	0%	-1.19%	-2.62%	-3.83%	-4.82%	-5.81%
	238	2.29%	1.03%	0%	-1.22%	-2.55%	-3.70%	-4.73%	-5.67%
	344	2.48%	1.28%	0%	-1.03%	-2.11%	-3.42%	-4.57%	-5.48%
	609	1.42%	0.75%	0%	-0.84%	-1.49%	-2.49%	-3.37%	-4.15%
	661	1.31%	0.69%	0%	-1.16%	-1.59%	-2.55%	-3.25%	-4.24%
	911	0.86%	0.36%	0%	-1.08%	-1.83%	-2.36%	-3.29%	-4.00%
	964	0.73%	0.44%	0%	-0.64%	-1.74%	-2.39%	-3.12%	-3.69%
	1120	1.41%	0.90%	0%	-0.23%	-1.25%	-1.70%	-2.10%	-3.31%
	1460	1.49%	0.68%	0%	-0.51%	-0.83%	-1.78%	-2.28%	-2.66%

نکته جالب اینست که اختلاف میان ضرایب تصحیح خودجذبی برای نمونه‌های گیاهی در این بازه‌ی بزرگ انرژی و چگالی کم است. علت آن به این خاطر است که عمده عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌های گیاهی، دارای عدد اتمی پایینی می‌باشند و برهمکنش پرتوهای گاما با خود نمونه گیاهی کم خواهد بود.

بنابراین، در نظر گرفتن ضرایب تصحیح خودجذبی برای نمونه‌های گیاهی کوچک و تقریباً قابل صرف نظر است.

### ۳- نتیجه‌گیری

اثر چگالی یا به عبارتی خودجذب در بازه در انرژی‌های کم‌تر از  $300 \text{ keV}$  برای نمونه‌های خاک قابل توجه است و در نظر گرفتن آن برای نمونه‌های گیاهی و آبی لازم و ضروری نیست. در انرژی‌های بالاتر، این اثر خودجذبی همان‌طور که در شکل ۶ مشهود است، کم‌رنگ‌تر می‌شود. مهم‌ترین و تاثیرگذارترین عامل بر روی این ضرایب تصحیح، هندسه و ابعاد ظرف مارینلی است.

شاید این ذهنیت شکل بگیرد که باید از ضرایب خودجذب نسبت به یک نمونه استاندارد ایده‌آل که دارای چگالی صفر است، استفاده شود. ولی این ذهنیت بنا به دلایلی درست نیست. زیرا بازه آشکارساز با استفاده از نمونه استاندارد که دارای چگالی



## مجموعه مقالات

چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

$1.2 \text{ g/cm}^3$  است، به دست آمد. بنابراین ضریب تصحیح خودجذب برای نمونه‌ای با چگالی  $1.2 \text{ g/cm}^3$  در نظر گرفته شده است و نیازی به اعمال ضریب تصحیح خودجذب برای نمونه‌هایی با این چگالی نیست. ولی برای نمونه‌های با چگالی متفاوت باید ضریب تصحیح خودجذب را در نظر گرفت.

### مراجع

- [1]. Debertin K, Helmer RG, “*Gamma and X-ray spectrometry with semiconductor detectors*”, Elsevier Science, Amsterdam, (2001)
- [2]. Mostajaboddavati M, Hassanzadeh S, Faghihian H, Abdi MR, Kamali IM, “*Efficiency calibration and measurement of self-absorption correction for environmental gamma spectroscopy of soil samples using Marinelli beaker*”, Radioanalytical and Nuclear Chemistry 268(3):539–544, (2006)
- [3]. M. Hasana, D. Bodizsb, Sz. Czifrusb, “*A simplified technique to determine the self-absorption correction for sediment samples*”, Applied Radiation and Isotopes 57 915–918, (2002)
- [4]. M. Jurado Vargasa, A. Fernandez Timona, N. Cornejo Daiazb, D. Paerez Saancheza, “*Monte Carlo simulation of the self-absorption corrections for natural samples in gamma-ray spectrometry*”, Applied Radiation and Isotopes 57 893–898, (2002)
- [5]. G. E. Knoll, “*Radiation detection and measurement*”, John Wiley & Son, (2000)