

## بررسی و محاسبه عامل خودجذبی در محاسبه بازده یک آشکارساز HPGe برای

### طیف‌سنجی گاما نمونه‌های منیتیتی در ظروف مارینلی

علیرضا امین دربرزی

دانشگاه یزد، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

#### چکیده

اثر خودجذبی در طیف‌سنجی گاما در نمونه‌های جمع‌آوری شده از یک معدن آهن، برای محاسبه بازدهی آشکارسازی مورد بررسی و محاسبه قرار گرفته است. خودجذبی نمونه‌ها وابسته به عواملی از قبیل ترکیبات، چگالی و اندازه نمونه و همچنین انرژی پرتو گامای گسیلی از نمونه دارد، که این عوامل به صورت عاملی مجتمع وارد محاسبات بازده آشکارساز می‌گردد.

#### کلیدواژه

خودجذبی، طیف‌سنجی گاما، ظروف مارینلی، آشکارساز ژرمانیوم خالص، سنگ معدن آهن.

#### مقدمه

از آنجا که اکتیویته‌ی نمونه‌های محیطی از اکتیویته‌ی چشمه‌های رادیواکتیو معمول پرکاربرد در آزمایشگاه‌ها بسیار (بیشتر از ۱۰۰۰ برابر) کم‌تر است، باید از حجم زیاد و گستردگی بالایی از نمونه‌ها استفاده کرد تا بتوان طیف مناسب و با دقت قابل قبولی به دست آورد. استفاده از چشمه‌های گسترده موجب بهره‌جستن از بازدهی بیشتری در آشکارسازی است. لذا ظروف مارینلی بهترین گزینه برای این اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. یکی از عوامل ایجاد خطا در اندازه‌گیری اکتیویته‌ی این چشمه‌های گسترده ناشی از تفاوت‌های بین چشمه‌ی استاندارد و این نمونه به خاطر اختلاف در هندسه، چگالی و ترکیب شیمیایی می‌باشد. همواره سعی بر این است که هندسه‌ی مجموعه‌ی نمونه-آشکارساز و ابعاد ظرف‌ها یکسان باشند. چگالی نمونه‌های محیطی به طور محسوسی متغیر است. چگالی خاک از  $0.5 \text{ gr/cm}^3$  تا  $1.5 \text{ gr/cm}^3$  است. مواد سنگین‌تر مانند کانی‌های آهن چگالی در محدوده‌ی  $2 \text{ gr/cm}^3$  تا  $3 \text{ gr/cm}^3$  دارند. چشمه‌های استاندارد محلول آبی نیز دارای چگالی  $1.0 \text{ gr/cm}^3$  هستند. مسئله دیگر تفاوت در ترکیب شیمیایی نمونه‌ها و چشمه‌ی استاندارد است. از آنجا که برای محیط‌های با چگالی‌یکسان که ترکیب شیمیایی متفاوتی دارند، ضرایب جذب جرمی مقدار اندکی با هم تفاوت خواهد داشت. یکی از روش‌های وارد کردن اثر تغییرات چگالی، اندازه‌گیری بازده به ازای انرژی‌های معین به وسیله‌ی چشمه‌های استاندارد با چگالی مختلف است. بعد از اندازه‌گیری می‌توان منحنی بازده را

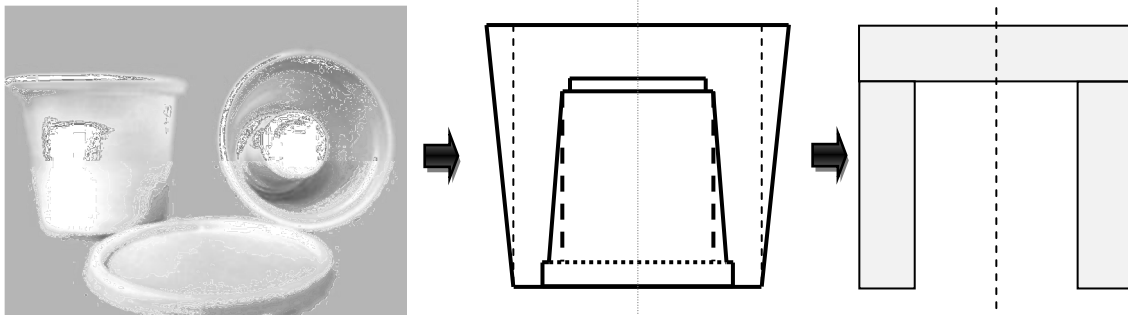
بر حسب چگالی و انرژی در یک تابع به دست آورد. این روش ساده، دقیق ولی - به علت نیاز به چشمه‌های استاندارد متعدد - پرهزینه است [۱].

ما روشی دیگر را انتخاب کردیم که در تحقیقات گذشته نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۲، ۳]. این روش بدون نیاز به چشمه های استاندارد با ماده‌ی زمینه گوناگون، قابل استفاده برای تعداد کثیری از مواد با ترکیب شناخته شده یا با ضریب تضعیف خطی مشخص، قابل استفاده می‌باشد.

### روش کار

در این روش آشکارساز با یک نقطه در مرکز آشکارساز روی محور استوانه‌ای چشمه استاندارد در لیوان مارینلی جایگزین می‌شود. برای این منظور ابتدا طرحی ساده مارینلی مورد استفاده را تهیه می‌نماییم (شکل (۱)).

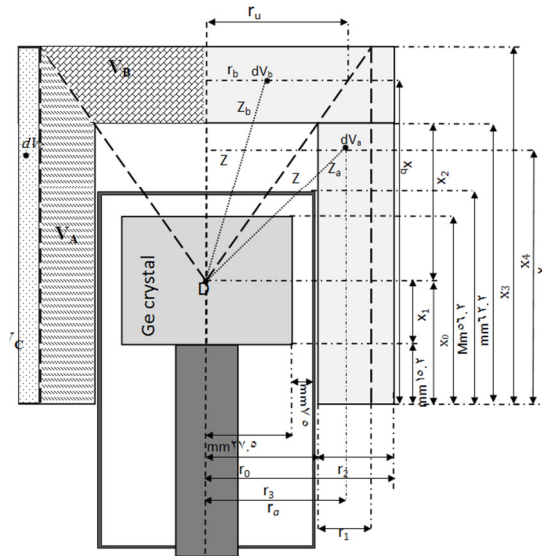
با استفاده از پارامترهای هندسی آشکارساز که توسط شرکت سازنده ارائه شده است طرحی برای آشکارساز در نظر می‌گیریم. نقطه‌ای که به عنوان نقطه‌ی آشکارسازی در نظر گرفته شده است را با  $D$  نمایش می‌دهیم. حال این دو طرح را روی یکدیگر منطبق می‌نماییم. در این حالت وضعیت آشکارساز و نمونه نسبت به یکدیگر کاملاً مشخص است (شکل (۲)).



شکل (۱): طرحی از مارینلی استفاده شده که در نهایت به یک طرح با هندسه ساده تقریب زده شده است

برای یک المان حجم  $dV$ ، فوتون‌های گسیل شده در جهت آشکارساز می‌باید از یک ضخامت  $Z_a$  از لایه‌های چشمه نفوذ کند که با عامل جذب  $exp(-\mu(E)Z_a)$  جذب می‌شوند که  $\mu(E)$  ضریب جذب خطی مواد پراشده برای فوتون با انرژی  $E$  است. از آنجا که بازده  $\epsilon$  آشکارساز نقطه‌ای به طور معکوس وابسته به مربع فاصله‌ی چشمه آشکارساز ( $Z$ ) است [۲]، برای یک المان حجم در نقطه‌ی  $a$ ، بازده‌ای به شکل زیر داریم:

$$\epsilon_a(E) = C(E) \frac{e^{-\mu(E)Z_a}}{Z^2} \quad (1)$$



شکل (۲): موقعیت آشکارساز - ماریتلی

عامل  $C(E)$  ثابت تناسب است. بازده کل چشمه به وسیله انتگرال گیری روی حجم  $V$  به دست می آید.

$$\varepsilon(E) = \frac{C(E)}{V} \int_V \frac{e^{-\mu(E)Z_a}}{Z^2} dV \quad (2)$$

این محاسبه را می توان برای هر ماده ای که تشکیل دهنده چشمه استاندارد یا نمونه ی مورد بررسی است، انجام شود.  $I(\mu)$  را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$I(\mu(E)) = \int_V \frac{e^{-\mu(E)Z_a}}{Z^2} dV \quad (3)$$

که اگر اندیس های  $s$  و  $c$  را برای نمونه و چشمه استاندارد وارد کنیم:

$$\varepsilon_s(E) = \varepsilon_c(E) \frac{I(\mu_s(E))}{I(\mu_c(E))} \quad (4)$$

نسبت دو انتگرال بیانگر عامل تصحیح به خاطر تفاوت چگالی و ترکیب و در نتیجه در خودجذبی برای چشمه استاندارد و نمونه است. برای محاسبه ی انتگرال، حجم  $V$  را به سه قسمت حجمی تقسیم می نماییم:

$V_A$ : حجم حلقه ای شکل که یک سطح مقطع از آن در سمت چپ شکل (۲) نشان داده شده است.

$V_B$ : دربرگیرنده ی مخروط ناقص که یک نیمه از مقطع آن در شکل (۲) نمایش داده شده است.

$V_C$ : حجم حلقوی شکل باریکی در بیرون حجم  $V_A$  است. اندازه ی برخی از کمیات روی شکل (۲) مشخص شده است.

با توجه به شکل، انتگرال مربوط به حجم  $V_A$  به شکل زیر در می آید:

$$I_A(\mu(E)) = \int_{r_0}^{r_0+r_1} \int_0^{x_u(r)} \frac{e^{-\mu(E)\frac{r-r_0}{r}\sqrt{r^2+(x-x_0)^2}}}{r^2 + (x-x_0)^2} 2\pi r dx dr \quad (5)$$

برای حجم  $V_B$  نیز این مقادیر را به دست می آوریم:

$$I_B(\mu(E)) = \int_{x_3}^{x_4} \int_0^{r_u(x)} \frac{e^{-\mu(E)\frac{x-x_3}{x-x_0}\sqrt{r^2+(x-x_0)^2}}}{r^2 + (x-x_0)^2} 2\pi r dr dx \quad (6)$$

و برای حجم  $V_C$  خواهیم داشت:

$$I_C(\mu(E)) = \int_{r_0}^{r_3} \int_0^{x_4} \frac{e^{-\mu(E)\frac{r-r_0}{r}\sqrt{r^2+(x-x_0)^2}}}{r^2 + (x-x_0)^2} 2\pi r dx dr \quad (7)$$

پارامترهای ذکر شده در شکل (۲) مشخص شده اند. حل این انتگرال ها به روش عددی و نرم افزارهای ریاضی قابل انجام است. در نهایت  $I(\mu)$  کل را به صورت حاصل جمع این سه انتگرال در نظر می گیریم:

$$I(\mu(E)) = I_A(\mu(E)) + I_B(\mu(E)) + I_C(\mu(E)) \quad (8)$$

در رابطه ی (۸) هنوز پارامتر مجهولی وجود دارد که همانا ضریب خودجذبی مواد است. محاسبه ی  $\mu$  مواد مرکب در انرژی های گوناگون از رابطه ی :

$$\mu_c \left( \frac{m^2}{kg} \right) = \sum_i w_i \mu_i \left( \frac{m^2}{kg} \right) \quad (9)$$

میسر است [۴]. که نسبت وزنیو  $w_i$  ضریب تضعیف ماده ی نام تشکیل دهنده نمونه است و  $\mu_c$  ضریب تضعیف جرمی کل ماده ی ترکیبی است. ما ضریب جذب را برای چشمه ی استاندارد (محلول آبی) و نمونه ها ( منیتیتی ها  $Fe_3O_4$  و باطله ها) محاسبه کردیم. برای باطله دی اکسید سیلیسیوم ( $SiO_2$ ) را به عنوان ماده ی زمینه در نظر می گیریم که بیش از ۷۵٪ این نمونه ها را تشکیل داده است. برای منیتیت ماده ی زمینه  $Fe_3O_4$  با فراوانی ۸۸/۵۳ تا ۹۲/۵۸ درصد می باشد [۵]. به عنوان نمونه برای منیتیت:

$$\mu_{Fe_3O_4} \left( \frac{m^2}{kg} \right) = 4 \frac{W_O}{W_{Fe_3O_4}} \mu_O \left( \frac{m^2}{kg} \right) + 3 \frac{W_{Fe}}{W_{Fe_3O_4}} \mu_{Fe} \left( \frac{m^2}{kg} \right) \quad (10)$$

که این رابطه را باید به ازای همه ی انرژی ها محاسبه کرد.  $\mu_{Fe}(E)$  و  $\mu_O(E)$  ضرایب جذب جرمی اکسیژن و آهن در انرژی  $E$  پرتو گاما است و  $W_{Fe}$ ،  $W_O$  و  $W_{Fe_2O_3}$  به ترتیب وزن اتمی آهن، اکسیژن و وزن مولکولی منیتیت می باشند.

اما آنچه ما در روابط استفاده می نماییم ضریب جذب خطی است و لذا برای ضریب جذب خطی داریم [۴]:

$$\mu_{Fe_3O_4} (m^{-1}) = \rho_{Fe_3O_4} \left( \frac{kg}{m^3} \right) \left[ 4 \frac{W_O}{W_{Fe_3O_4}} \mu_O \left( \frac{m^2}{kg} \right) + 3 \frac{W_{Fe}}{W_{Fe_3O_4}} \mu_{Fe} \left( \frac{m^2}{kg} \right) \right] \quad (11)$$

که  $\rho_{Fe_3O_4}$  چگالی هر یک از نمونه های منیتیت مورد بررسی است.

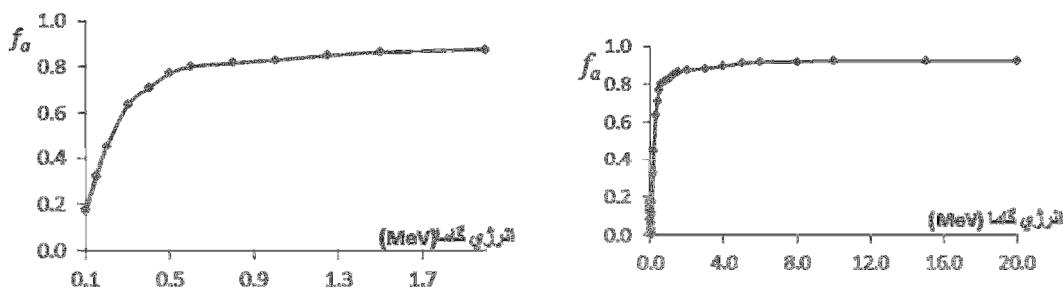
سپس برای باطله‌ها خواهیم داشت:

$$\mu_{SiO_2}(m^{-1}) = \rho_{SiO_2} \left( \frac{kg}{m^3} \right) \left[ 2 \frac{W_o}{W_{SiO_2}} \mu_o \left( \frac{m^2}{kg} \right) + \frac{W_{Si}}{W_{SiO_2}} \mu_o \left( \frac{m^2}{kg} \right) \right] \quad (12)$$

چون آشکارساز با یک محلول آبی کالیبره شده است بازدهی  $\epsilon_s(E)$  برای نمونه‌ی مورد سنجش به وسیله‌ی حاصل ضرب  $\epsilon_s(E)$  در عامل تصحیح  $I(\mu_s)/I(\mu_c)$  که آن را  $f_a$  می‌نامیم به دست می‌آید.

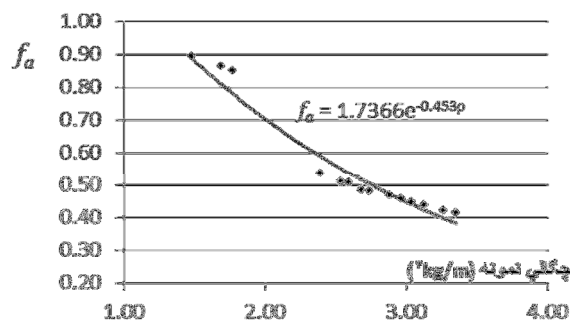
## نتایج

نمودار (۱) تغییرات این عامل تصحیح به ازای انرژی‌های مختلف را برای یکی از نمونه‌ها نشان می‌دهد. از آنجا که ما بازدهی آشکارساز را برای انرژی‌های ویژه‌ای که در آنها پیکی وجود دارد نیاز داریم بنابراین می‌باید بعد از محاسبه‌ی  $f_a$  در بازه‌ی انرژی ۱۰keV تا ۲۰MeV با برازش منحنی روی آن‌ها در بازه‌ی مورد نیاز که حدود ۱۰keV تا ۲MeV مقادیر عامل تصحیح خودجذبی در این انرژی‌ها را برای هر نمونه به طور مجزا به دست می‌آوریم. این کار را به روش درون‌یابی اسپلاین انجام شده است. نمودار (۲) این مقادیر درون‌یابی شده را برای نمونه‌ی نمودار (۱) را نشان می‌دهد. اگر بازبینی از نتایج به دست آمده در مورد عامل‌های تصحیح تمامی نمونه‌ها انجام دهیم، مشاهده می‌شود که  $f_a$  بیش از آن‌که وابسته ترکیب نمونه‌ها باشند با تغییرات انرژی پرتو تغییر می‌کند.

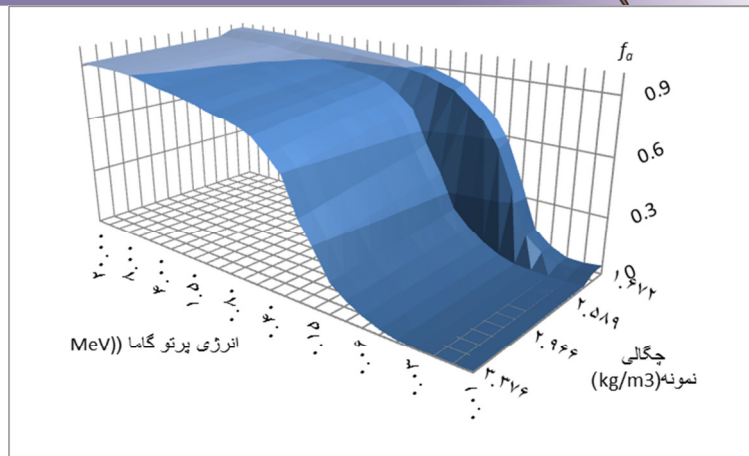


نمودار (۱): نمودار  $f_a$  بر حسب انرژی برای یکی از نمونه - نمودار (۲):  $f_a$  در گستره انرژی مورد بررسی (۰/۱ MeV تا MeV)

ها (۲/۰) برای نمونه ذکر شده در نمودار (۱)



نمودار (۳): نمودار  $f_a$  بر حسب چگالی نمونه‌ها برای پرتو گاما با انرژی ۲۰۰KeV.



نمودار (۴): نمودار  $f_a$  برحسب چگالی نمونه‌ها و انرژی پرتو گاما

همچنین با توجه به نمودار (۱) عامل تصحیح خود جذب برای پرتوهای گاما با انرژی بیشتر از ۴MeV به مقدار مجانبی ۰/۹۲۲ می‌رسد و عملاً تغییر نخواهد کرد. نمودار (۳) که برای تغییرات عامل تصحیح خود جذب نمونه بر حسب چگالی نمونه‌ها رسم شده است، نشان می‌دهد که این ضریب به طور نمایی با چگالی نمونه کاهش می‌یابد.

### بحث و نتیجه گیری

روش ارائه شده جهت در نظر گرفتن عامل خود جذب کارآمد می‌باشد و نشان می‌دهد که این عامل وابسته به انرژی پرتو گاما و چگالی نمونه می‌باشد.

### مراجع

- [1] Mostajaboddavati M. , Hasanzadeh S. , Faghihian H. , Abdi M.R. , Kamali M. ,(2006), Efficiency Calibration And Measurement Of Self-Absorption Correction For Environmental Gamma-Spectroscopy Of Soil Samples Using Marinelli Beaker, J. Radio. And Nucl. Chem., 268(3), 539-544.
- [2] Debertin K., Jianping R., (1989), Measurement Of The Activity Of Radioactive Samples In Marinelli Beakers, Nuclear Instruments And Methods In Physics Research A, 278, 541-549.
- [3] Zikovskiy L., Chah B., (1988) ,A computer program for calculating Ge(Li) detector counting efficiencies with large volume samples, Nucl. Instr. And Meth. A, 263, 483-486.
- [۴] سولفان‌دیس نیکلاس، اندازه‌گیری و آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای، ترجمه: کوهی رحیم، هادی‌زاده محمد هادی، چاپ اول، کتابستان مشهد (۱۳۷۱).
- [۵] موسوی‌نسب زهره، (۱۳۷۶)، ژئوشیمی و ژئوکانسار آهن، بافق-یزد، دانشگاه شیراز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.