



بهینه سازی پارامترهای آشکارساز گایگر مولر غوطه ور شده در آب با استفاده از شبیه-

سازی به وسیله کد MCNPX

قاسمی نژاداناری، مهدیه^(۱) - غلامزاده، لیلا*^(۱) - نگارستانی، علی^(۲) - رضایی راثینی نژاد،

محمد رضا^(۲)

(۱) دانشگاه یزد، دانشکده علوم، گروه فیزیک

(۲) دانشگاه تحصیلات تکمیلی و فناوری پیشرفته دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، گروه

هسته‌ای

چکیده:

یکی از روش‌های تعیین مقدار غلظت گاز رادن درون آب، استفاده از آشکارساز گایگر مولر داخل یک محفظه‌ی تفلونی است. در این مقاله، بهینه‌سازی پارامترهای آشکارساز گایگر مولر برای امکان‌سنجی اندازه‌گیری مستقیم تغییرات غلظت گاز رادن درون آب مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، پارامترهای آشکارساز با استفاده از کد MCNPX با انرژی‌های مربوط به ایزوتوپ‌های سری اورانیوم - ۲۳۸ و توریوم - ۲۳۲ شبیه‌سازی شده است. محاسبات آماری هم نشان دهنده‌ی این موضوع است که این دستگاه مورد مناسبی جهت اندازه‌گیری غلظت گاز رادن است.

کلمات کلیدی: گایگر مولر، رادن، گاما، MCNPX، بهینه‌سازی

Optimization of the response of Geiger Muller detector parameters soaked in water using MCNPX Simulation code

Ghasemi Nejad Anari, Mahdiah*⁽¹⁾ - Gholamzadeh, Leila⁽¹⁾ - Negarestani, Ali⁽²⁾ - Rezaie Nejad, Mohammadreza⁽²⁾

(1) Yazd university, Faculty of Science, Department of Physics

(2) Kerman Graduate University of Advanced Technology, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Nuclear Group

Abstract:

One of the methods for measuring the concentration of radon gas in water is to use a Geiger-Muller detector inside a Teflon cavity. In this paper, optimization of Geiger-Muller detector parameters for the possibility of direct measurement of changes in the concentration of radon gas in water has been investigated. So, the detector parameters are optimized using the MCNPX code with energies related to U-238 and Th-233 series. The statistical calculations also indicate that this detector is suitable for measuring the concentration of radon gas.

Key words: Geiger-Muller, Radon, Gamma, MCNPX, optimization

مقدمه :

رادن-۲۲۲ یک گاز بی اثر با پرتوزایی بالا بالا بر گرفته از سری اورانیوم-۲۳۸ است که عملاً آن را در انواع سنگها و جامدات و آبهای زیر زمینی می توان یافت. هنگامی که رادن و دخترانش واپاشی می کنند مقادیر زیادی



از ذرات آلفا، بتا و همچنین پرتو گاما گسیل می شود که با روش های مختلف قابل آشکارسازی هستند؛ تغییرات غلظت گاز رادن در آب برای علوم مختلف از جمله پیش‌نشاندگی زلزله، زمین‌شناسی اقیانوس‌شناسی، علوم زمین و غیره قابل توجه بوده است [1]. اندازه‌گیری تغییرات غلظت گاز رادن درون آب با استفاده از وسایل و روشهای مختلف صورت گرفته است که برخی از این روشها به صورت زیر عنوان شده است: شمارشگر سوسوزن مایع (LCS): در این روش غلظت گاز رادن با آشکارسازی سوسوزن نوری تولید شده توسط ذرات آلفای ساطع شده از رادن و دخترانش (^{218}Po و ^{214}Po) تعیین می شود [2]. طیف‌سنجی ذرات آلفا: یک مثال از این روش دیدبانی مداوم از رادن با استفاده از Rad7 می‌باشد؛ روش سیستم Rad7 در برگیرنده‌ی آشکارسازی ذرات آلفای گسیل شده به وسیله‌ی دختران رادن (^{218}Po و ^{214}Po) است که از یک آشکارساز آلفای سیلیکون استفاده شده است [3]. طیف‌سنجی پرتو گاما: غلظت گاز رادن از گسیل گاما در واپاشی دختران رادن (^{218}pb و ^{214}Bi) بعد از رسیدن به تعادل پایدار با رادن ۲۲۲ بدست می آید.

روش جدید ارائه شده جهت آشکارسازی پیوسته گاز رادن داخل آب، آشکارساز گایگرمولر غوطه‌ور در آب است [4]. آشکارساز گایگرمولر در سال 1928 توسط گایگر، مولر و رادرفورد برای آشکارسازی ذرات آلفا، بتا، پرتوی گاما و همچنین آشکارسازی مئون ساخته شد. آشکارساز گایگر مولر خصوصیتی دارد که این نوع آشکارساز را از سایر انواع متمایز می‌کند، از جمله: حساسیت زیاد، سهولت و قابلیت آشکارسازی انواع تابش‌ها در محیط‌های متفاوت، بزرگی پالس خروجی قیمت مناسب و غیره [5]. در کلیه اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی منابع عدم قطعیت یا خطا وجود دارند. برخی از این عدم قطعیت‌ها از خصوصیات دستگاه اندازه‌گیری ناشی می‌شوند. منشأ دیگر که عدم قطعیت واپاشی پرتوزایی نمونه‌ی آن است به تغییرات آماری ذاتی فرایندی مربوط می‌شوند که اساساً کاتوره‌ای هستند [6]. برای آشکارسازی پرتوهای گاما یک آشکارساز گایگر مولر قرار گرفته در محفظه‌ی استوانه‌ای تفلونی که در آب غوطه‌ور شده است با استفاده از کد MCNPX شبیه‌سازی شده است.

در آشکارسازی پرتوهای گاما ضخامت بدنه، جنس و ابعاد آشکارساز پارامترهای تعیین‌کننده‌ای هستند. در این مقاله ضمن بررسی پارامترهای فوق‌چینش تعداد متعددی از آشکارسازهای گایگر مولر مورد شبیه‌سازی قرار گرفته شده است؛ تعداد پالس‌های ساطع شده با چینش ۲۴ آشکارساز ۵۷۸ شمارش به ازای 10KBq/m^3 است که این روش توانسته است ضریب حساسیت را بهبود ببخشد.

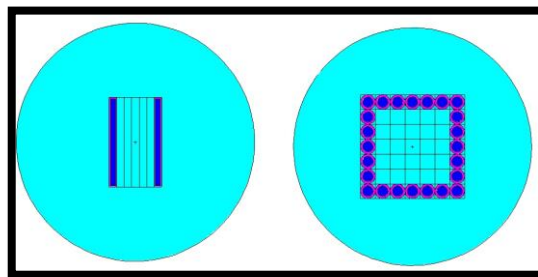
روش کار:

شبیه‌سازی با استفاده از کد MCNPX: فایل ورودی کد MCNPX برای شبیه‌سازی آشکارساز گایگر مولر داخل آب شامل ۱۳ سلول می‌باشد. سلول اول محیط‌گازی داخل استوانه‌ای به قطر $2/45$ سانتی‌متر و ارتفاع $59/9$ سانتی‌متر است که حاوی گاز نئون و اتانول با نسبت ۱۰۰ به ۱/۱۵ می‌باشد. سلول دوم بدنه‌ی



آشکارساز است که از سرپوش، ته پوش و پوسته استوانه‌ای آلومینیومی با ضخامت ۵ میلی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر ساخته شده است. سلول سوم استوانه‌ای از جنس تفلون با ضخامت ۱ cm و ارتفاع ۶۲ cm می‌باشد، سلول چهارم حاوی مقداری از آب می‌باشد که در داخل یونیورس و در خارج از استوانه تفلونی است چگالی آب $1 \frac{kg}{m^3}$ است. سلول‌های یک تا چهار با یونیورس ۳ پر شده است. سلول پنجم و ششم برای تعریف شبکه استفاده می‌شود در این سلول‌ها یونیورس‌ها با دستور fill پر می‌شوند این سلول‌ها از جنس خلا هستند. سلول نهم برای شبکه‌بندی و چگونگی قرارگیری یونیورس‌ها در شبکه تعریف می‌شود. این سلول نیز از جنس خلا تعریف می‌شود. سلول دهم برای مرزبندی شبکه تعریف می‌شود و از جنس خلا با شد. سلول یازدهم کره‌ای با شعاعی برابر ۱۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. این سلول از جنس آب که شعاع آن متناسب با برد پرتو گاما در آب (نزدیک ۱ متر) انتخاب شده است. سلول دوازدهم بقیه جهان و خارج از کره است و از جنس خلا با چگالی صفر می‌باشد.

برای این شبیه‌سازی چشمه‌ی گاما باید چشمه‌ای حجمی با توزیع یکنواخت در سلول یازدهم باشد چون رادن و دخترانش به عنوان گسیل‌دهنده‌ی گاما در داخل آب به صورت یکنواخت وجود دارند. از برهم‌کنش گاما با بدنه‌ی آلومینیومی (در اثر پدیده‌های کامپتون، فوتو‌الکتریک، تولید الکترون بر اثر پدیده تابش ترمزی، الکترون دهی پرتو ایکس و فلورسانس) الکترون‌هایی تولید می‌شود که از دیواره داخلی استوانه به داخل محیط گازی آشکار ساز نفوذ می‌کند [7]. در این فایل ورودی با استفاده از تالی f1 تعداد الکترونیایی که روی سطوح داخلی بدنه آلومینیومی ایجاد شده است، محاسبه می‌شود. به علت اینکه فایل خروجی MCNPX برای تالی f1 برای یک ذره نرمالیزه شده است با افزایش تعداد ذرات شبیه‌سازی شده خطای محاسبه در کمترین حد ممکن تنظیم می‌شود. سلول‌های در نظر گرفته شده به صورت نمایی از چینش ۲۴ آشکارساز با استفاده از نرم‌افزار VisEd 8 به شکل (۱) خواهد در آمد:



شکل شماره (۱): نمایی از چینش آشکارسازها با استفاده از نرم‌افزار VisEd 8

محاسبات آماری ناشی از شمارش پالس‌ها:



تبدیل‌های پرتوزا و سایر واکنش‌های هسته‌ای به صورت کاتوره‌ای به وقوع می‌پیوندند، بنابراین از لحاظ کمی باید براساس قواعد آماری آنها را مورد بررسی قرار داد. انحراف معیار میانگین از رابطه زیر محاسبه می‌شود [8].

$$\sigma = \sqrt{r_g + r_{bg}} \Rightarrow \sigma = \sqrt{r_n + 2r_{bg}}$$

نتایج:

نتایج حاصل از شبیه‌سازی MCNPX گایگرمولر در آب به این صورت است که با توجه به تالی قرار داده شده در فایل ورودی کد MCNPX و اجرای مرحله به مرحله تعداد الکترون روی سطح داخلی در سری واپاشی اورانیوم-۲۳۸ و توریوم-۲۳۲ به ازای انرژی هر کدام از ایزوتوپ‌ها به ترتیب به صورت زیر در جدول شماره (۱) و جدول شماره (۲) داده شده است.

جدول شماره (۱): تعداد الکترون بر حسب انرژی در سری اورانیوم-۲۳۸

تعداد الکترون ۱۰ ^{-۳} *	فراوانی	نیمه عمر	انرژی گاما (Mev)	ایزوتوپ	ردیف
۲/۷۹	۰/۰۰۰۷۶	۳/۸۲۳ روز	۰/۵۱	Rn222	۱
۰/۲۷	۰/۰۱۰۹۹	۲۶/۸ دقیقه	۰/۰۵۳	Pb214	۲
۱/۳۳	۰/۰۷۴۵۸۵	۲۶/۸ دقیقه	۰/۲۴۲	Pb214	۳
۰/۸۵	۰/۱۹۱۹۶	۲۶/۸ دقیقه	۰/۲۹۵۲	Pb214	۴
۴/۱۲	۰/۷۰۹۲	۲۶/۸ دقیقه	۰/۳۵۱۹	Pb214	۵
۴/۱۲	۰/۰۱۰۸۹۷	۲۶/۸ دقیقه	۰/۷۸۵۹	Pb214	۶
۲/۸۹	۰/۴۶۰۹۸	۱۹/۷ دقیقه	۰/۶۰۹۳	Bi214	۷
۳/۹۶	۰/۰۴۸۹	۱۹/۷ دقیقه	۰/۷۶۸۴	Bi214	۸
۴/۰۱	۰/۰۱۲۳	۱۹/۷ دقیقه	۰/۸۰۶۲	Bi214	۹
۵/۲۸	۰/۰۳۱۶	۱۹/۷ دقیقه	۰/۹۳۴۱	Bi214	۱۰
۵/۳۸	۰/۱۵	۱۹/۷ دقیقه	۰/۱۲۰۳	Bi214	۱۱
۶/۰۵	۰/۰۵۹۲	۱۹/۷ دقیقه	۰/۲۳۸۲	Bi214	۱۲
۶/۵۷	۰/۰۴۰۲	۱۹/۷ دقیقه	۱/۳۷۷۷	Bi214	۱۳
۶/۰۵	۰/۰۲۴۸	۱۹/۷ دقیقه	۱/۴۰۸	Bi214	۱۴
۶/۸۶	۰/۰۲۱۹	۱۹/۷ دقیقه	۱/۵۰۹۲	Bi214	۱۵
۶/۳۷	۰/۱۵۹	۱۹/۷ دقیقه	۱/۷۶۴۵	Bi214	۱۶



۳/۹۷	۰/۰۰۰۱۴	۱۶۴ میکروثانیه	۱/۷۹۹	Po214	۱۷
۱/۰۷	۰/۰۰۰۱۶	۱۳ دقیقه	۰/۲۹۶	Ti210	۱۸
۳/۸	۰/۰۰۰۰۲	۱۳ دقیقه	۰/۷۹۵	Ti210	۱۹
۵/۷۶	۰/۰۰۰۰۴۲	۱۳ دقیقه	۱/۳۱۰	Ti210	۲۰
۰/۵۹	۰/۰۴۰۵	۲۱ سال	۰/۰۴۶۵	Pb210	۲۱
۴/۳۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۱۳۸/۴ روز	۰/۸۳۰	Po210	۲۲

که با در نظر گرفتن انرژی ایزوتوپ، نیمه عمر و فراوانی خواهیم داشت:

$$N' = \sum N'_i = N \sum \gamma_i p_i = ۸/۰۳۲ \times ۱۰^{-۳} \times N$$

$$P = \frac{N'}{N} = ۸/۰۳۲ \times ۱۰^{-۳}$$

که در این رابطه γ_i فراوانی و p_i تعداد الکترون‌های حاصل است.

جدول شماره (۲): تعداد الکترون بر حسب انرژی در سری توریم-۲۳۲

تعداد الکترون $\times ۱۰^{-۴}$	فراوانی	نیمه عمر	انرژی گاما (MeV)	ایزوتوپ	ردیف
۲۳/۹	۰/۰۰۰۷	۵۵/۶ ثانیه	۰/۵۵	Rn220	۱
۹/۹	۰/۴۳۶	۱۰/۴۶ ساعت	۰/۲۳۸۶	Pb212	۲
۸/۹	۰/۰۳۳۴	۱۰/۴۶ ساعت	۰/۳	Pb212	۳
۳/۸	۰/۰۱۱	۶۰/۶ دقیقه	۰/۰۳۹۹	Bi212	۴
۹/۴	۰/۰۶۶۵	۶۰/۶ دقیقه	۰/۲۷۲۳	Bi212	۵
۹	۰/۰۲۲۶	۳/۱ دقیقه	۰/۲۷۷۴	Pb208	۶
۲۴/۷	۰/۰۷۹۴	۳/۱ دقیقه	۰/۵۱۰۷	Pb208	۷
۲۳/۸	۰/۳۰۳۶	۳/۱ دقیقه	۰/۵۸۳۲	Pb208	۸
۴۱/۴	۰/۰۰۶۵	۳/۱ دقیقه	۰/۷۶۳۱	Pb208	۹
۴۷	۰/۰۴۴۵	۳/۱ دقیقه	۰/۸۶۰۶	Pb208	۱۰

که با در نظر گرفتن انرژی ایزوتوپ، نیمه عمر و فراوانی خواهیم داشت:

$$N' = \sum N'_i = N \sum \gamma_i p_i = ۱/۷۱ \times ۱۰^{-۳} N$$

$$P = \frac{N'}{N} = ۱/۷۱ \times ۱۰^{-۳}$$

در این قسمت با توجه به مقادیر بدست آمده مربوط به سری اورانیوم-۲۳۸ و توریم-۲۳۲ برای تعداد الکترون‌ها خواهیم داشت:

$$N_i = N'_{232} + N'_{238} = N_{232} (\sum \gamma_i p_i)_{232} + N_{238} (\sum \gamma_i p_i)_{238}$$

$$N_{232} = 0.1 N_{238}$$



$$P_{total} = \frac{Nt}{N_{232} + N_{238}} = \frac{0.1(\sum \gamma_i p_i)_{232} + (\sum \gamma_i p_i)_{238}}{1.1} = \frac{1.71 \times 10^{-3} \times 0.1 + 8.032 \times 10^{-3}}{1.1} = 7.46 \times 10^{-3}$$

همچنین عدد حاصل از اجرای برنامه به ازای واحد سطح است که باید در تعداد ذرات ورودی ضرب شود. تعداد ذرات ورودی عبارت است از حاصل ضرب حجم محفظه در غلظت رادن؛ حال اگر غلظت آب را $10 \frac{KBq}{m^3}$ در نظر بگیریم تعداد ذرات به صورت زیر محاسبه می شود، حجم منبع برابر است با:

تفاضل حجم کره از حجم استوانه ها =

$$\frac{4}{3} \pi r^3 - 24 \pi r^2 l = 72382/5 - 24 \times 1178/1 = 7/2099$$

و غلظت رادن $10^4 Bq/m^3$ می باشد. بنابراین تعداد ذرات تقریباً برابر با 72100 است. در نهایت به ازای مقدار 72000 ذره‌ی ورودی فرضی برای بدست آوردن تعداد الکترونهايي که روی سطوح داخلی بدنه آلومینیومی ایجاد شده است را بدست می آوریم:

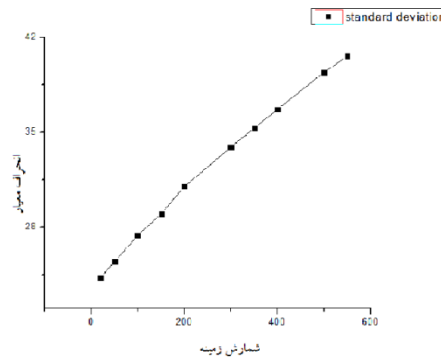
$$7/46 \times 10^{-3} \times 72100 \cong 538$$

بنابراین آشکارساز تعداد 538 الکترون را به ازای 72100 ذره‌ی ورودی آشکارسازی می کند. که این مقدار در مقایسه با یک آشکارساز 19 برابر شده است که به طور قابل توجهی بهره‌وری سیستم را بالا می برد.

بهینه سازی تعداد استوانه‌ها، جنس، ضخامت و گاز داخل آشکار ساز: نتایج حاصل از بهینه سازی تعداد استوانه‌ها نشان دهنده‌ی این مطلب است که با کم و زیاد کردن تعداد استوانه‌ها در ساختار شبکه بهترین چپش مربوط به چپش 24 استوانه است. همچنین از بهینه سازی پارامترهای دیگر آشکار ساز که حاصل از تغییر جنس لایه استوانه‌ای، ضخامت پوسته‌ی استوانه‌ای و نوع گاز داخل استوانه است؛ که با مقایسه از طریق کد MCNPX به ترتیب بهترین جنس برای پوسته، آلومینیوم است؛ مناسب ترین ضخامت برای پوسته، 4 میلی‌متر و بهترین گاز برای پرکردن استوانه نئون است.

نتایج حاصل از محاسبات آماری ناشی از میزان شمارش تابش زمینه:

در اینجا تعداد شمارش خالص به ازای غلظت $10 KBq/m^3$ برابر 538 ذره است. اگر مقدار شمارش زمینه را صفر بگیریم. مقدار خالص برابر با 583 ± 23 می شود که با انحراف معیار $0/04$ درصدی مواجهیم حال اگر مقدار زمینه به 500 ذره برسد این مقدار 583 ± 39 است که انحراف معیاری حدود $0/07$ در صد بر اثر تابش زمینه دارد. بنابراین هر چه تابش زمینه به نسبت بیشتر باشد انحراف معیار بیشتر می شود. نتیجه این محاسبات ناشی از تغییرات انحراف معیار بر اساس شمارش زمینه غلظت $10 KBq/m^3$ در شکل شماره (۳) آمده است.



شکل شماره (۳): تغییرات انحراف معیار بر حسب شمارش زمینه

بحث و نتیجه گیری:

در این مقاله با استفاده از شبیه سازی MCNPX پاسخ آشکار ساز گایگرمولر غوطه‌ور شده در آب برای اندازه‌گیری پیوسته غلظت گاز رادن و دختران آن شبیه‌سازی شده است. تعداد الکترون ناشی از چینش بیست و چهارتایی آشکارساز گایگرمولر برای پرتوهای گامای ناشی از واپاشی رادن و دختران در سری‌های واپاشی اورانیوم-۲۳۸ و توریوم برابر ۵۳۸ و ضخامت بهینه بدنه آشکار ساز ۴ میلی متر استخراج شده است. همچنین بهترین فلز برای بدنه آلومینیوم و مناسب ترین گاز نئون تشخیص داده شده است. برای بالا بردن ضریب حساسیت با افزایش تعداد استوانه‌ها و نتایج فوق به همراه بررسی‌های آماری موید این نکته است که برای آبهای زیرزمینی که غلظت گاز رادن بیش از 10 kBq/m^3 است استفاده از این آشکار ساز بتواند جهت بررسی تغییرات گاز رادن بر اثر زلزله مفید باشد.

مراجع:

1. Snow, D.D., Spalding, R.F, Short-term aquifer residence times estimated from ^{222}Rn disequilibrium in artificially-recharged ground water. J. Environ. Radioactive d.325-307.1997
2. Barnett, J.M., et al, Lung dose estimates from ^{222}Rn in Arizona groundwater based on liquid scintillation measurements. Health Phys. 68 ed., 1995.
3. Barnett, J.M., et al, Lung dose estimates from ^{222}Rn in Arizona groundwater based on liquid scintillation measurements. Health Phys. 68 ed., 1995.
4. Lee, J.-M., Kim, G, A simple and rapid method for analyzing radon in coastal and ground waters using a radon-in-air monitor. J. Environ. Radioactive.2006
5. Countess ,R.J. Measurement of ^{222}Rn in water. Health Phys. 1976
6. Trenn T.J., The Geiger-Müller counter of 1982. Annals of science. 43ed. 1986.
7. krane , k.s. introductory nuclear physics. Vol. 1,2ed.p. 934- 987
8. Brewer, R., X.-. TA, and L.A.N. Laboratory, Criticality Calculations with MCNP: A Primer.00380-09-2009
9. Cember, H.a.T.E.J., Introduction to health physics2009: McGraw-Hill.