

## محاسبه‌ی بازدهی یک شمارنده‌ی کل بدن با هندسه‌ی صندلی به‌وسیله‌ی

### شبیه‌سازی مونت کارلو

سعدي، پورعلي<sup>۱</sup>؛ مجتبی، مستجاب‌الدعواتی<sup>۱</sup>؛ حسین، پوریگی<sup>۲</sup>\*

۱. دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه مهندسی هسته‌ای

۲. سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

#### ۱- چکیده

از شمارنده‌های کل بدن برای تعیین آلودگی داخلی و آشکارسازی پرتوهای گامای ساطع شده از بدن، استفاده می‌شود. در این تحقیق شبیه‌سازی مونت کارلو یک سامانه‌ی شمارنده با هندسه صندلی که شامل فانتوم نیم‌تنه و چشمه‌ی نقطه‌ای که در موقعیت کل بدن در فانتوم قرار گرفته است به‌وسیله‌ی کد MCNPX انجام گرفت. اثر تضعیف پرتو گامای با انرژی بالاتر از ۲۰۰ کیلو الکترون ولت در فانتوم نیم‌تنه و نیز اثر موازی‌ساز سربی طراحی شده که نقش کاهنده‌ای را در مقدار بازدهی دارد، مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- کلید واژه : شمارنده‌ی کل بدن، بازدهی، مونت کارلو، فانتوم نیم‌تنه

#### ۳- مقدمه

برای ارزیابی دقیق دز داخلی افراد و کارکنان لازم است که از میزان ورود مواد پرتوزا به داخل بدن تخمین داشته باشیم. عموماً از شمارنده‌های کل بدن جهت آشکارسازی پرتوهای گاما با انرژی بالاتر از ۲۰۰ کیلو الکترون ولت که از بدن ساطع شده، استفاده می‌شود. این ابزار نمی‌تواند به‌طور مستقیم آلودگی داخلی را اندازه‌گیری کند لذا کاربر باید بتواند ارتباط بین مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار ماده پرتوزا وارد شده به بدن را تعیین کند. بنابراین از فانتوم نیم‌تنه به‌طور گسترده برای مقیاس‌بندی انرژی و بازدهی آشکارسازی با قرار دادن چشمه ترکیبی استاندارد در حفره‌هایی که نمایانگر تیروئید، شش‌ها، دستگاه گوارش و کل بدن است، استفاده می‌شود. آشکارساز یدور سدیم NaI(Tl) در سامانه‌های شمارنده‌ی کل بدن کاربرد وسیعی دارد [۱].

در این تحقیق شبیه‌سازی مونت کارلو برای محاسبه‌ی بازدهی یک سامانه‌ی شمارنده بدن با هندسه صندلی، که آشکارساز آن از نوع NaI(Tl) می‌باشد، مورد نظر است. البته برای اعتبار سنجی سامانه‌ی شمارنده، در ابتدا محاسبات تعیین بازدهی مطلق برای یک چشمه نقطه‌ای با انرژی‌های مختلف در فاصله‌ی معینی از آشکارساز NaI(Tl) در محیط بررسی می‌شود. سپس برای انجام محاسبات مونت کارلو یک فانتوم نیم‌تنه به‌وسیله کد

MCNPX مدل‌سازی می‌شود. در نهایت بازده یک سامانه‌ی شمارنده با هندسه‌ی صندلی که شامل فانتوم نیم تنه و چشمه‌ی نقطه‌ای که در موقعیت کل بدن در فانتوم قرار گرفته است، ارزیابی می‌شود.

#### ۴- روش کار

##### ۴-۱- بازده آشکارساز

معمولاً ذراتی که وارد آشکارساز می‌شوند، به‌طور کامل شمرده نمی‌شوند و در مواردی بسته به نوع و انرژی ذره، نوع و اندازه‌ی آشکارساز، ممکن است بی‌هیچ برهم‌کنشی از آشکارساز بگذرند و یا علامتی که تولید می‌کنند، آنقدر کوچک باشد که نتوان با دستگاه‌های الکترونیکی در دسترس آنها را ثبت کرد، لذا بازده‌ی ذاتی آشکارساز عملاً کمتر از یک است. بازده‌ی آشکارساز به چگالی و اندازه‌ی ماده‌ی آشکارساز، نوع و انرژی تابش و سامانه‌ی الکترونیک متصل به آشکارساز، وابسته است. با افزایش احتمال برهم‌کنش بین تابش فرودی و ماده‌ی آشکارساز، بازده‌ی آشکارساز افزایش می‌یابد که این احتمال متناسب با سطح مقطع برهم‌کنش‌ها با آشکارساز، چگالی ماده و ابعاد آشکارساز است [۲].

##### ۴-۲- محاسبه بازده ذاتی آشکارساز

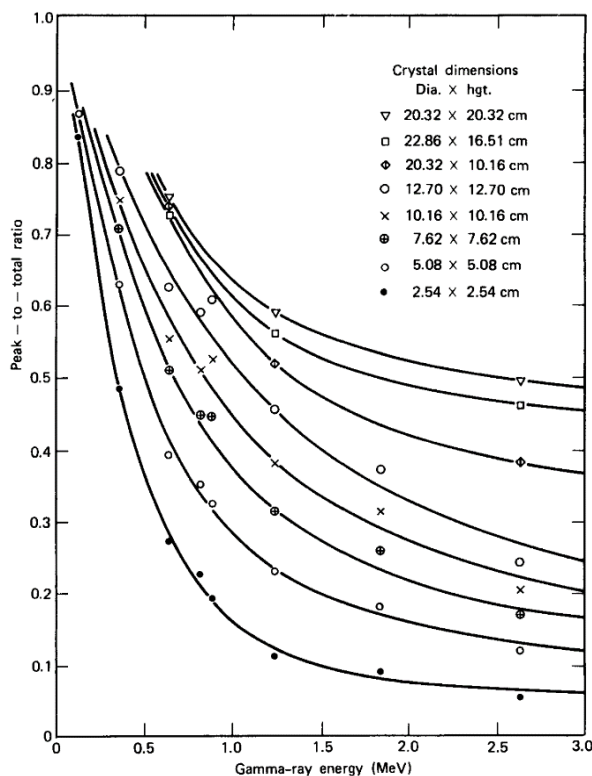
یکی از روش‌های مرسوم برای محاسبه بازده‌ی آشکارساز استفاده از روش مونت کارلو و کد MCNPX است که دقت خوبی دارد [۳]. شبیه‌سازی برای آشکارساز NaI(Tl) به ابعاد ۲ اینچ در ۲ اینچ با یک موازی‌ساز سربی که بر روی یک فانتوم نیمه تنه قرار گرفته است، انجام می‌گیرد و از درخواست (تالی) F۸ برای تعیین تعداد شمارش‌ها در ناحیه فوتوپیک استفاده می‌شود.

برای اطمینان از صحت محاسبات نتایج حاصل از شبیه‌سازی، نخست یک چشمه همسانگرد در یک فاصله‌ی معین (۱۰ سانتی‌متری) از یک آشکارساز با ابعاد مورد نظر شبیه‌سازی می‌شود و سپس کمیت نسبت شمارش فوتوپیک به شمارش کل بیناب همراه با نتایج تجربی مرجع [۲]، در نمودار شکل (۱) آورده و مقایسه شده است.

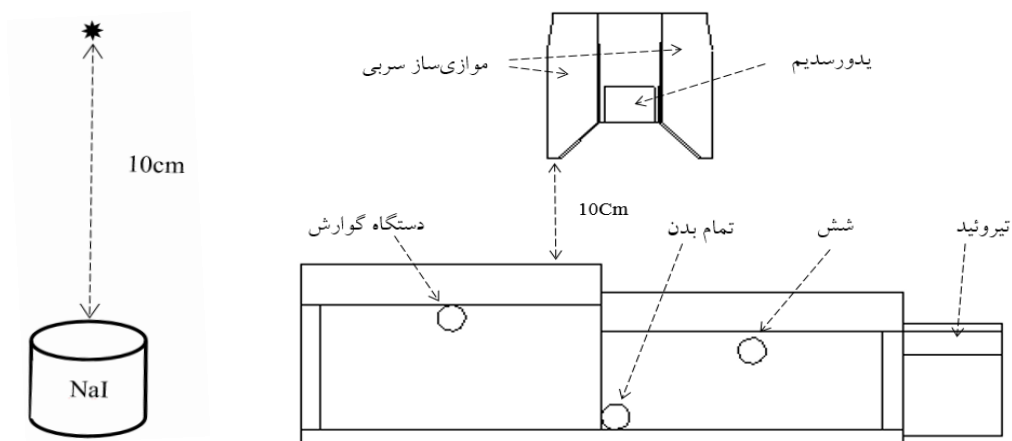
##### ۴-۳- مدل‌سازی فانتوم نیم‌تنه

شمارنده‌ی کل بدن با هندسه صندلی یکی از انواع هندسه‌های به شکل قوسی می‌باشد که توسط گروه Evans برای اندازه‌گیری آلودگی داخلی معرفی شد [۴]. شمارنده‌ی کل بدن در این تحقیق شامل آشکارساز NaI(Tl) ۲ اینچ در ۲ اینچ، موازی‌ساز سربی و فانتوم نیم‌تنه است که این فانتوم بر روی صندلی قرار گرفته و

چشمه در موقعیت کل بدن جای گذاری شده است. شکل (۲) نمایی از آشکارساز و موازی ساز مدل سازی شده که در فاصله ی ۱۰ سانتی متری از سطح فانتوم نیم تنه قرار دارد را نشان می دهد.



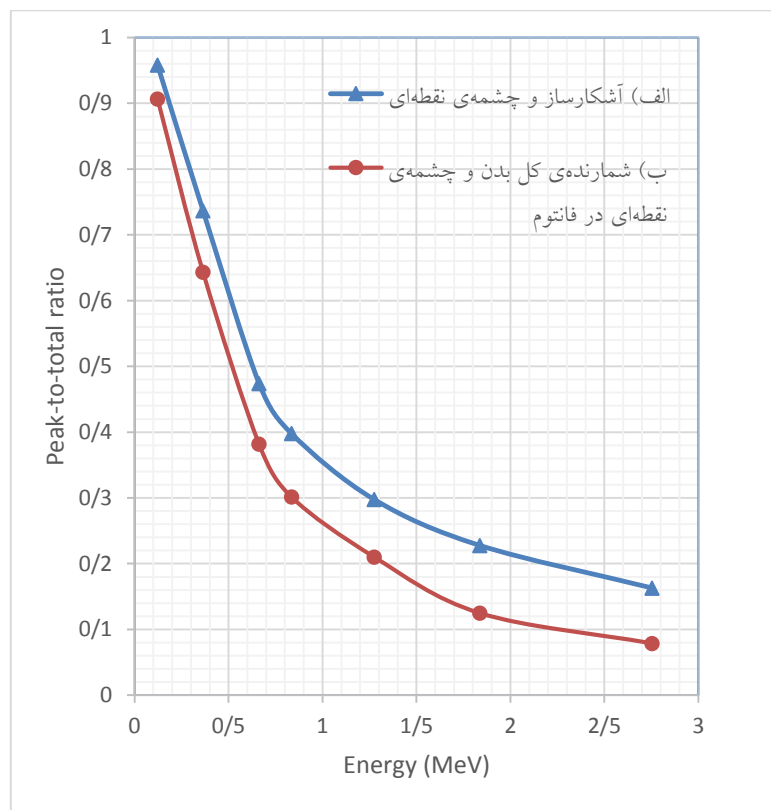
شکل ۱: نمودار تغییرات بازدهی (شمارش های فوتونیک به کل طیف) نسبت به انرژی برای آشکارساز NaI(Tl) با ابعاد مختلف که در فاصله ۱۰ سانتی متر در محیط هوا قرار گرفته است [۲].



شکل ۲: مدل سازی آشکارساز NaI(Tl) اینچ در ۲ اینچ، موازی ساز سربی و فانتوم نیم تنه به وسیله کد MCNPX که چشمه در موقعیت کل بدن جای گذاری شده است.

## ۵- نتایج

نتیجه‌ی محاسبات بازدهی در حالتی که بر حسب فوتوپیک به کل شمارش (Peak-to-total ratio) وقتی که یک چشمه‌ی نقطه‌ای در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری از آشکارساز ۲×۲ اینچ قرار گرفته و همچنین پیک به کل شمارش هندسه‌ای که در شکل (فانتوم) آورده شده را می‌توان در نمودار شکل (۳) دید، که با نتایج نمودار شکل (۱) مطابقت دارد. نتایج محاسبات بازدهی برای سامانه‌ی طراحی شده در این تحقیق نیز در نمودار شکل (۳) آورده شده است.



شکل ۳: نتایج محاسبات بازدهی بر حسب فوتوپیک به کل شمارش (Peak-to-total ratio) در دو حالت الف) چشمه نقطه‌ای در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری از آشکارساز ۲×۲ اینچ، ب) سیستم طراحی شده در این تحقیق.

## ۶- بحث و نتیجه‌گیری

در نمودار شکل (۳) اثر تضعیف پرتو گامای با انرژی بالاتر از ۲۰۰ کیلو الکترون ولت در فانتوم نیم‌تنه که از جنس بافت معادل بدن است و نیز اثر موازی سازی سربی طراحی شده که نقش کاهش دهنده در مقدار بازدهی



دارد، قابل رؤیت است. نتایج حاکی از آن است که در محدوده‌ی انرژی گامای پیش گفته، با افزایش انرژی مقدار بازدهی کاهش می‌یابد. در این تحقیق نشان داده شد که تغییرات بازدهی بر اثر تغییر فاصله‌ی بین آشکارساز و چشمه و نیز اثر ماده تضعیف کننده (فانتوم) به‌طور کمی قابل محاسبه است. لذا بر اساس نتایج این تحقیق ما قادر خواهیم بود که موازی‌ساز سربی با ابعاد بهینه و نیز فاصله‌ی بهینه آن از سطح بدن (فانتوم) را در تحقیقات بعدی مطالعه کنیم و برای ساخت و توسعه شمارنده‌ی کل بدن برای تعیین آلودگی داخلی در بدن اقدام موثری را انجام دهیم.

#### ۷- منابع

- [۱] J.I. KIM et. al. NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, Vol. ۱, p. ۵۴۹-۵۵۱ (۲۰۱۱).
- [۲] G. F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", John Willey & Sons, New York, p. ۳۳۵-۳۴۱ (۱۹۹۹).
- [۳] کاشیان، رئیس علی، اسکندری و خلفی، "محاسبه‌ی بازده ذاتی آشکارساز BGO با استفاده از روش‌های تحلیلی و مونت کارلو"، کنفرانس فیزیک ایران، (۱۳۹۰).
- [۴] A. E. Evans, J. D. Orndoff, NUREG/CR-۱۳۹۸ (LA-۸۳۰۱), (۱۹۸۰).