

## بررسی تأثیر اندازه سوسوزن بر شکل تابع پاسخ آشکارسازهای

### NE102 و NE213 برای پرتوهای گاما

مختار یداللهی روشن، مجتبی تاجیک\*

گروه فیزیک هسته‌ای و ذرات بنیادی، دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

دریافت: 1396/11/25 ویرایش نهائی: 1397/03/14 پذیرش: 1397/03/23

#### چکیده

در این مقاله، اثر ابعاد سوسوزن بر شکل تابع پاسخ آشکارسازهای سوسوزن آلی NE102 و NE213 با هندسه استوانه‌ای مطالعه شده است. طیف تابع پاسخ آشکارسازهای سوسوزن‌ها با ابعاد مختلف، هنگامی که در معرض تابش‌های گامای چشمه‌های  $^{137}\text{Cs}$ ،  $^{60}\text{Co}$  و  $^{22}\text{Na}$  قرار گرفتند، با استفاده از کد MCNPX-PHORTACK شبیه‌سازی و سپس اندازه‌گیری شد. با استفاده از تابع پاسخ‌های شبیه‌سازی و تجربی، میزان تأثیر اندازه سوسوزن بر شکل تابع پاسخ، قدرت تفکیک انرژی و بازدهی برای آشکارسازهای سوسوزن محاسبه شد. مقایسه مقادیر شبیه‌سازی بازدهی و قدرت تفکیک انرژی سوسوزن‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده و نتایج تجربی دیگران، همخوانی خوبی را نشان می‌دهد.

**کلیدواژگان:** تابع پاسخ، قدرت تفکیک انرژی، بازدهی انرژی، کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK

#### مقدمه

در بخش دوم: تابع پاسخ آشکارسازهای مورد مطالعه اندازه‌گیری شده است. در بخش سوم: تابع پاسخ‌های تجربی و شبیه‌سازی، به‌صورت کیفی و کمی مقایسه شده است و میزان تأثیر ابعاد بر بازدهی و قدرت تفکیک انرژی به‌صورت کیفی و کمی بررسی شده است.

#### مطالعات شبیه‌سازی

##### کد مونت کارلوی هیبریدی MCNPX-

##### PHOTRACK

کد MCNPX قابلیت ترابرد 34 نوع ذره و چهار یون سبک و کد مونت کارلوی PHOTRACK توانایی ترابرد نور سوسوزنی را دارد. به‌منظور ارایه یک شبیه‌سازی تابع پاسخ تا حد امکان دقیق از کد مونت کارلوی تلفیقی MCNPX-PHOTRACK استفاده شده است [9].

سوسوزن‌های آلی NE102 و NE213 به‌خاطر کاربرد وسیع و آسان و مواردی که امکان ساخت سوسوزن در اندازه بزرگ و اشکال مختلف و یا سریع بودن آشکارساز مورد نیاز هستند، استفاده می‌شود. این سوسوزن‌ها در مراکز هسته‌ای، پزشکی و صنعت کاربرد ویژه‌ای دارند [1]. پژوهش‌هایی که تاکنون در زمینه آشکارسازهای NE102 و NE213 انجام شده بیشتر شبیه‌سازی تابع پاسخ آشکارساز با استفاده از کدهای چند منظوره مانند MCNP [2]، FLUKA [3]، Geant [4] بوده است [5-8]. در بررسی‌های قبلی اثر ابعاد سوسوزن بر تابع پاسخ با استفاده از یک کد جامع شبیه‌سازی، به‌طور دقیق بررسی نشده است. برای رسیدن به هدف ذکر شده، این پژوهش در سه بخش اساسی انجام شده است. در بخش اول: تابع پاسخ سوسوزن‌های آلی با هندسه استوانه‌ای با ابعاد مختلف به پرتوهای گاما با استفاده از کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK به‌طور دقیق شبیه‌سازی شده است [9].

\*نویسنده مسئول: tajik@du.ac.ir

## محاسبه انباشت انرژی با استفاده از کارت

### MCNPX کد PTRAC

به منظور بررسی‌ها و محاسبات مورد نظر، در کد MCNPX، نخست هندسه، مواد، موقعیت، انرژی چشمه و نوع تالی برای کد تعیین می‌شود. مسئله شامل سه سوسوزن پلاستیک NE102 به شکل استوانه‌ای به قطر و ارتفاع 7,62cm، به قطر و ارتفاع 5,08cm و به قطر 4,6cm و ارتفاع 3,87cm، و یک سوسوزن مایع NE213 به قطر و ارتفاع 5,08cm می‌باشد، که در معرض چشمه‌های گامای موازی شده  $^{137}\text{Cs}$ ،  $^{60}\text{Co}$  و  $^{22}\text{Na}$  قرار گرفته است. از آنجایی که هدف از این مطالعه، مقایسه شبیه‌سازی تابع پاسخ تا حد امکان دقیق با استفاده از کد MCNPX می‌باشد به نحوی که بهترین همخوانی را با نتایج تجربی داشته باشند، پس باید میزان انباشت انرژی در حجم سوسوزن به دقت محاسبه شود. برای این منظور از کارت PTRAC (Particle Track output Card) استفاده شده است. این کارت، تمام تاریخچه ذره از قبیل نوع برهم‌کنش، جهت و موقعیت ذره را ثبت می‌کند.

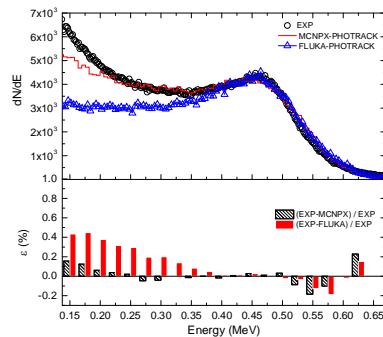
کد MCNPX به علت عدم توانایی در ترابرد فوتون مرئی، تنها قابلیت شبیه‌سازی بخش انباشت انرژی پرتوهای گاما را دارد. بنابراین برای شبیه‌سازی ترابرد نور و در نظر گرفتن ویژگی‌های اپتیکی از کد PHOTRACK استفاده شده است [10]. در شبیه‌سازی ترابرد نور مرئی کد PHOTRACK با داشتن هندسه سوسوزن، خواص اپتیکی وابسته به طول‌موج، شماره سلول و تعداد فوتون‌های مرئی که در هر حجمک باید تولید شوند (مثلاً 10000 فوتون مرئی در این پژوهش)، وزن فوتون‌های مرئی رسیده به سطح فوتوکاتد را محاسبه می‌کند. به این ترتیب خروجی کد PHOTRACK شامل یک جدول از وزن‌های فوتون‌های مرئی برای هر حجمک ارائه می‌دهد. این خروجی همراه با خروجی کارت PTRAC کد

MCNPX به برنامه پس پردازشی داده می‌شود. در این برنامه پس پردازشی انباشت انرژی برای هر تاریخچه پرتو گاما در هر حجمک محاسبه می‌شود. این انرژی‌ها در وزن نوری هر حجمک ضرب و برای هر تاریخچه، نور کل حاصل از یک تک فوتون گاما محاسبه می‌شود. هنگامی که همه فرآیندها برای تعداد زیادی از تابش‌های گاما فرودی تکرار شود، می‌توان منحنی فراوانی نور کل ترابرد شده را که همان تابع پاسخ سوسوزن است، به دست آورد. به منظور فراهم شدن مقایسه نتایج شبیه‌سازی با نتایج تجربی، یک پهن‌شدگی اضافی نیز باید بر روی طیف شبیه‌سازی مرحله قبل اعمال شود که اساساً ناشی از اثر حضور PMT (که می‌تواند به نایکنواختی سطح فوتوکاتد، وابستگی به طول موج بهره کوانتومی و تکثیر الکترون در زنجیره داینود مرتبط باشد) و نیز الکترونیک مربوطه است. این قدرت تفکیک اضافی معمولاً با پیچش یک تابع گاوسی در طیف خروجی برنامه MCNPX-PHOTRACK انجام می‌شود.

### مطالعات تجربی

به منظور تأیید نتایج شبیه‌سازی پاسخ تجربی سوسوزن آلی پلاستیک استوانه‌ای (NE102) به قطر و ارتفاع 7,62cm، به قطر و ارتفاع 5,08cm و به قطر 4,6cm و ارتفاع 3,87cm، و سوسوزن آلی مایع BC501A استوانه‌ای با هندسه به قطر و ارتفاع 5,08cm که در معرض چشمه‌های گامای  $^{137}\text{Cs}$ ،  $^{60}\text{Co}$  و  $^{22}\text{Na}$  قرار گرفته‌اند، اندازه‌گیری شد. در این اندازه‌گیری‌ها فاصله چشمه تا آشکارساز تقریباً 1cm در نظر گرفته شده است. اجزای استفاده شده برای اندازه‌گیری تابع پاسخ آشکارساز عبارتند از: واحد HV مدل NHQ105M از شرکت FASTComTec، دستگاه PreAMP مدل 3001 از مؤسسه JAP، واحد Spectroscopy AMP مدل 3600 از مؤسسه JAP، واحد ADC مدل 7072 از

نتایج شبیه‌سازی حاصل از کد FLUKA، برای سوسوزن پلاستیک NE102 به شکل استوانه به قطر و ارتفاع 5,08 سانتی‌متر که در معرض چشمه  $^{137}\text{Cs}$  قرار گرفته، انجام شده است.



شکل 3. مقایسه تابع پاسخ تجربی و شبیه‌سازی حاصل از کارت PTRAC کد MCNPX و کد FLUKA برای آشکارساز سوسوزن پلاستیک NE102 به قطر و ارتفاع 5,08 cm، که در معرض چشمه  $^{137}\text{Cs}$  قرار گرفته است.

در شکل 3 به طور کیفی میزان عدم همخوانی طیف شبیه‌سازی برای کد FLUKA و کد MCNPX با طیف تجربی نشان داده شده است. این اختلاف نسبی برای کد FLUKA و کد MCNPX به ترتیب 9/23% و 1% به دست آمد. بیشترین همخوانی دو طیف تجربی و شبیه‌سازی در اطراف ناحیه لبه کامپتون است و کمترین همخوانی در ارتفاع‌های پایین طیف است. علت اختلاف در انرژی‌های پایین می‌تواند ناشی از عوامل زیر باشد:

- 1- اثر مواد محصورکننده مجموعه آزمایش بر طیف تجربی که در شبیه‌سازی به حساب نمی‌آیند.
- 2- نوفه الکترونیک که معمولاً در ناحیه کم انرژی طیف غالب است.
- 3- عدم دقت سطح مقطع‌های کدهای MCNPX و FLUKA در ناحیه کم انرژی برهم‌کنش تابش گاما با ماده.

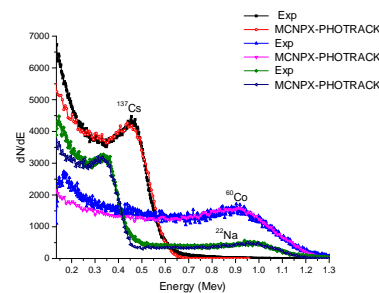
شرکت FASTComTec، و نرم‌افزار داده برداری مدل DAS از مؤسسه IAP.

## نتایج

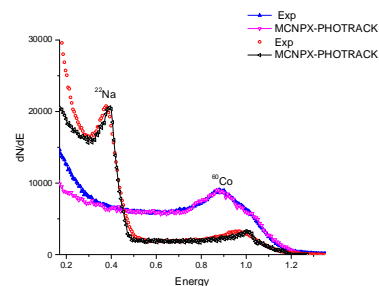
### مقایسه کیفی نتایج شبیه‌سازی با نتایج اندازه‌گیری

#### شد

پس از شبیه‌سازی تابع پاسخ آشکارساز سوسوزن مایع و پلاستیک با ابعاد مختلف این توابع پاسخ با نتایج تجربی اندازه‌گیری شده مقایسه شده است. مقایسه توابع پاسخ شبیه‌سازی و تجربی در شکل‌های 1 و 2 همخوانی خوب نتایج کد MCNPX-PHOTRACK با نتایج تجربی را به طور کیفی نشان می‌دهند. به منظور مقایسه کمی نتایج شبیه‌سازی با تجربی دو کمیت مهم آشکارسازی یعنی بازدهی نورخروجی سوسوزن و قدرت تفکیک انرژی آشکارساز محاسبه شده است.



شکل 1. مقایسه نتایج تجربی با شبیه‌سازی تابع پاسخ آشکارساز سوسوزن پلاستیک NE102 به شکل استوانه به قطر و ارتفاع 5,08 cm، که در معرض چشمه‌های  $^{137}\text{Cs}$ ،  $^{60}\text{Co}$  و  $^{22}\text{Na}$  قرار گرفته‌اند.



شکل 2. مقایسه نتایج تجربی با شبیه‌سازی تابع پاسخ آشکارساز سوسوزن پلاستیک NE102 به شکل استوانه به قطر و ارتفاع 7,62 cm، که در معرض چشمه‌های  $^{22}\text{Na}$  و  $^{60}\text{Co}$  قرار گرفته‌اند.

در ادامه مقایسه‌ای بین نتایج تابع پاسخ‌های شبیه‌سازی حاصل از به‌کارگیری کارت PTRAC کد MCNPX و

## مقایسه کمی نتایج شبیه سازی با نتایج اندازه گیری

### محاسبه بازدهی آشکارساز

بازدهی سوسوزن به صورت  $\epsilon = N_{\text{detected}}/N_{\text{emitted}}$  تعریف می شود که در آن  $N_{\text{detected}}$  و  $N_{\text{emitted}}$  به ترتیب تعداد گامای شمارش شده توسط سوسوزن و تعداد گامای گسیل شده توسط چشمه است. با استفاده از کارت PTRAC کد MCNPX و یک برنامه پس پردازشی، ابتدا تابع پاسخ سوسوزن و سپس بازدهی سوسوزن محاسبه شده است. نتایج این محاسبات در جدول 1 آمده است. در جدول 1 بازدهی آشکارساز سوسوزن پلاستیک NE102 به شکل استوانه برای سه اندازه  $7,62\text{cm} \times 7,62\text{cm}$ ،  $5,08\text{cm} \times 5,08\text{cm}$  و  $4,6\text{cm} \times 3,87\text{cm}$  محاسبه شده است.

جدول 1. بازدهی نور خروجی حاصل از نتایج شبیه سازی برحسب درصد برای آشکارساز سوسوزن NE102، به شکل استوانه ای، در ابعاد مختلف که در معرض چشمه های گامای موازی شده  $^{137}\text{Cs}$ ،  $^{60}\text{Co}$  و  $^{22}\text{Na}$  قرار گرفته است.

ابعاد آشکارساز (ارتفاع × قطر)	$^{137}\text{Cs}$	$^{60}\text{Co}$	$^{22}\text{Na}$
$7,62\text{cm} \times 7,62\text{cm}$	16,92	12,92	16,48
$5,08\text{cm} \times 5,08\text{cm}$	12,25	9,36	11,95
$4,6\text{cm} \times 3,87\text{cm}$	10,79	8,07	-----

به منظور برآوردی از میزان همخوانی نتایج تجربی با نتایج شبیه سازی، سطح زیرمنحنی طیف های تابع پاسخ شبیه سازی و تجربی در شکل های 2 و 1 محاسبه و سپس با استفاده از رابطه 1 خطای نسبی بازدهی ناشی از نتایج شبیه سازی محاسبه می شود.

$$\epsilon = (eff_{\text{exp}} - eff_{\text{MCNPX}}) / eff_{\text{exp}} \quad 1$$

در رابطه 1،  $\epsilon$ : خطای نسبی،  $eff_{\text{exp}}$ : بازدهی نور خروجی تجربی،  $eff_{\text{MCNPX}}$ : بازدهی نور خروجی شبیه سازی می باشد. شکل های ۱، ۲ و جدول 2 نشان می دهند که عدم

همخوانی در ناحیه ارتفاع پالس های پایین باعث حداکثر خطای نسبی حداکثر 3/52% در برآورد بازدهی سوسوزن را در بر خواهد داشت.

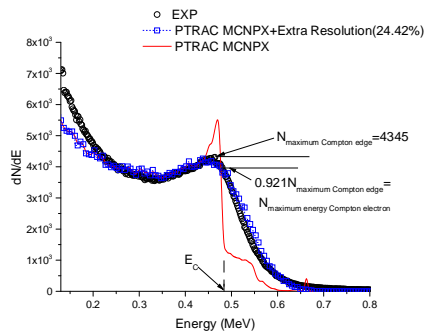
جدول 2. خطای نسبی بازدهی نور خروجی برای نتایج شبیه سازی حاصل از به کارگیری کارت PTRAC کد MCNPX برای آشکارساز سوسوزن پلاستیک استوانه NE102 با ابعاد مختلف که در معرض چشمه  $^{137}\text{Cs}$  قرار گرفته است.

ابعاد (قطر و ارتفاع) سوسوزن	(خطای نسبی) $\epsilon$
$5,08\text{cm} \times 5,08\text{cm}$	1,08%
$4,6\text{cm} \times 3,87\text{cm}$	1,8%
$7,62\text{cm} \times 7,62\text{cm}$	3,17%

### محاسبه قدرت تفکیک انرژی

یکی از پارامترهایی که در شکل طیف و قدرت تفکیک انرژی بسیار مؤثر می باشد، اندازه سوسوزن است. به منظور مطالعه اندازه سوسوزن بر قدرت تفکیک انرژی، در مرحله اول تابع پاسخ سوسوزن ها برای چشمه های مختلف گاما با استفاده از کارت PTRAC، MCNPX به دست آورده شد. در مرحله دوم قدرت تفکیک اضافی از طریق پیچش یک تابع گاوسی به داده های به دست آمده از مرحله اول، به طوری که طیف مورد نظر بیشترین همخوانی با طیف تجربی را داشته باشد، اعمال شد. این قدرت تفکیک اضافی به صورت ریشه مربعی ارتفاع پالس  $(a(E)^{0.5})$  در نظر گرفته می شود [11]، که در آن  $a$  یک پارامتر قابل تنظیم است. در شکل 4 تمام مراحل ذکر شده در بالا را برای آشکارساز سوسوزن پلاستیک NE102 به شکل استوانه به قطر و ارتفاع  $5,08\text{cm}$  که در معرض چشمه  $^{137}\text{Cs}$  قرار گرفته، نشان داده ایم. این روش برای سوسوزن های NE102 و NE213 با ابعاد مختلف، انجام شد. در این محاسبات با استفاده از نتایج شبیه سازی (حاصل از کارت PTRAC کد MCNPX) موقعیت بیشینه انرژی الکترون کامپتون ( $E_c$ ) و محل تلاقی آن با طیف تجربی مکان قله نمودار گاوسی برازشی در طیف تجربی

است.



شکل 4. مقایسه تابع پاسخ حاصل از نتایج شبیه‌سازی با استفاده از PTRAC کد MCNPX و همان نتایج شبیه‌سازی با اعمال قدرت تفکیک اضافی به مقدار 21,4% با نتایج تجربی برای آشکارساز سوسوزن پلاستیک NE102 به شکل استوانه به قطر و ارتفاع 5,08cm که در معرض چشمه  $^{137}\text{Cs}$  قرار گرفته است.

جدول 3. قدرت تفکیک انرژی برای آشکارساز NE102 و NE213 به شکل استوانه‌ای با ابعاد  $5,08 \times 5,08 \text{ cm}^2$  که در معرض چشمه‌های مختلف گاما قرار گرفته است.

$\delta(\%)$	قدرت تفکیک انرژی		
	شبیه‌سازی (%)	تجربی (%)	
2,23	20,56	20,11	213NE
3,01	17,42	16,91	
4,21	13,11	12,58	
1,75	21,42	21,05	102NE
2,48	18,18	17,74	
3,32	13,68	13,24	
0,341	0,477	1,06	بیشینه انرژی الکترون کامپتون (MeV)

مشخص می‌شود [12]. در شکل 4 برای آشکارساز سوسوزن پلاستیک NE102 به شکل استوانه به قطر و ارتفاع 5,08cm که در معرض چشمه  $^{137}\text{Cs}$  قرار گرفته، مقدار  $E_C$  برابر 0,341MeV و مکان قله نمودار گاوسی در 0,92 بیشینه لبه کامپتون واقع شده است با استفاده از مشخصه‌های نمودارهای گاوسی برازشی بر توابع پاسخ، برای هر انرژی فوتون گاما  $\frac{\Delta E_C}{E_C}$  محاسبه شد، که در آن  $\Delta E_C$  پهنای نیم‌بیشینه نمودار گاوسی است. نتایج حاصل از این محاسبات در جداول 3 و 4 آمده است در این جدول  $\delta$  با رابطه 2 داده می‌شود:

$$\delta = \frac{R_{\text{exp}} - R_{\text{simul}}}{R_{\text{exp}}} \quad 2$$

که در آن  $\delta$ ، اختلاف نسبی قدرت تفکیک انرژی،  $R_{\text{exp}}$  قدرت تفکیک انرژی حاصل از داده‌های تجربی،  $R_{\text{simul}}$  قدرت تفکیک انرژی حاصل از داده‌های شبیه‌سازی می‌باشند.

همان‌طور که در جداول 3 و 4 نشان داده شده است، قدرت تفکیک انرژی  $\frac{\Delta E_C}{E_C}$  برای آشکارساز NE102 به ابعاد  $5,08 \text{ cm} \times 5,08 \text{ cm}$  در بازه انرژی 0,341 MeV تا 1,062 MeV از 21,05% تا 13,24% تغییر می‌کند. قدرت تفکیک انرژی  $\frac{\Delta E_C}{E_C}$  برای آشکارساز NE102 و NE213 با ابعاد یکسان  $5,08 \text{ cm} \times 5,08 \text{ cm}$  در بازه انرژی از 0,341 MeV تا 1,062 MeV تقریباً یکسان است. در همین بازه انرژی قدرت تفکیک انرژی آشکارساز NE102 به ابعاد  $7,62 \text{ cm} \times 7,62 \text{ cm}$  از 23,49% تا 17,62% تغییر می‌کند. اختلاف نسبی قدرت تفکیک انرژی بین نتایج تجربی و شبیه‌سازی کمتر 5%

جدول 4. مقادیر قدرت تفکیک انرژی برای آشکارساز NE102 با ابعاد مختلف.

قدرت تفکیک انرژی (%) $\frac{\Delta E_c}{E_c}$		انرژی الکترون (MeV)
NE102		
7,62×7,62 cm <sup>2</sup>	5,08×5,08 cm <sup>2</sup>	0,341
23,94	21,05	0,477
21,19	17,74	1,06
17,62	13,24	

جدول 5. مقادیر قدرت تفکیک انرژی برای آشکارساز NE213 با ابعاد مختلف.

قدرت تفکیک انرژی (%) $\frac{\Delta E_c}{E_c}$			انرژی الکترون (MeV)
[14] NE213	[13] NE213	NE213	
38×38 mm <sup>2</sup>	50,8×50,8 mm <sup>2</sup>	50,8×50,8 mm <sup>2</sup>	0,341
15,5	18,8	20,11	0,477
13,0	15,6	16,91	1,06
8,7	12,2	12,58	

نتایج به دست آمده با داده‌های قدرت تفکیک انرژی برای آشکارساز سوسوزن NE213 در مراجع [13] و [14] در جدول 5 آمده است. مقایسه نشان می‌دهد مقادیر قدرت تفکیک انرژی  $\frac{\Delta E_c}{E_c}$  برای آشکارساز NE213 با ابعاد یکسان، در انرژی‌های مختلف در این کار و مرجع [13] توافق خوبی دارند و اختلاف کمتر از 3% است.

به منظور بررسی میزان تأثیر عوامل مختلف بر قدرت تفکیک انرژی آشکارساز، به داده‌های قدرت تفکیک انرژی به دست آمده، تابع قدرت تفکیکی با استفاده از رابطه 3 برازش شده است [15]. در این تابع، جمله اول که نشان‌دهنده سهم مستقل از انرژی است به عواملی چون از قبیل جمع‌آوری نایکنواخت نور (اثر هندسه) مرتبط می‌شود. جمله دوم سهم افت و خیزهای تولید و تقویت نور و جمله سوم سهم نوفه از قبیل جریان در تاریکی لامپ تکثیرکننده فوتونی بر قدرت تفکیک را نشان می‌دهد. مقادیر ضرایب  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  از برازش

مختاری بر داده‌های قدرت تفکیک انرژی به دست می‌آید. در این برازش  $\alpha$  و  $\gamma$  ثابت در نظر گرفته و برای بهترین برازش مقدار  $\beta$  تغییر می‌کند [13] و [14].

$$\frac{\Delta E_c}{E_c} = \left[ \alpha^2 + \left( \frac{\beta^2}{E_c} \right) + \left( \frac{\gamma^2}{E_c^2} \right) \right]^{1/2} \quad 3$$

ضریب  $\beta$  به نور خروجی سوسوزن بسیار حساس است و اساساً قدرت تفکیک انرژی سوسوزن را تعیین می‌کند. با استفاده از داده‌های جداول 4 و 6 مقدار  $\beta$  برای سوسوزن NE102 با ابعاد 50,8mm×50,8mm، 2/53%، 7/62mm×7/26mm کمتر از سوسوزن NE102 با ابعاد 50,8mm×50,8mm است. این اختلاف نشان می‌دهد، آشکارساز NE102 با ابعاد بزرگتر، قدرت تفکیک نور خروجی ضعیف‌تری دارد. همان‌طور که جدول 6 نشان می‌دهد مقدار  $\beta$  برای دو سوسوزن NE102 و NE213 با ابعاد 50,8mm×50,8mm تقریباً یکسان است. مقدار  $\beta$  برای سوسوزن NE213 با ابعاد 50,8mm×50,8mm با مقدار  $\beta$  ارایه شده در مرجع [13] تقریباً برابر است. این اختلاف ناچیز بیشتر مربوط به تفاوت در تکثیرکننده‌های به کار گرفته شده در آشکارسازهای این کار و مرجع [13] است.

جدول 6. پارامترهای تابع قدرت تفکیک انرژی برای آشکارساز NE213.

ابعاد آشکارساز قطر × ارتفاع			این کار			نقوی و همکاران [13]		
			$\gamma$	$\beta$	$\alpha$	$\gamma$	$\beta$	$\alpha$
NE213 5,8mm×50,8mm			0,2	11,26	1,5	0,2	11,0	1,5
NE102 5,8mm×50,8mm			0,2	12,26	1,5	-	-	-
7,2mm×76,2mm			0,2	14/79	1,5	-	-	-

در شکل 5 مقادیر قدرت تفکیک انرژی برای آشکارسازهای NE102 با ابعاد 50,8mm×50,8mm و NE102 با ابعاد 76/2mm × 76/2mm همراه با تابع قدرت تفکیک انرژی برازش شده، رسم شده است. در

تا 8% تغییر می‌کند. با توجه به کاربرد گسترده آشکارسازهای آلی در حوزه‌های مختلف با ابعاد و هندسه‌های مختلف، روش به‌کار رفته در این پژوهش می‌تواند برای ساخت و طراحی آشکارسازهای بسیار کارآمد باشد. در کارهای آینده با استفاده از نتایج این کار به بررسی راندمان سیستم ارتفاع سنج هسته‌ای شامل آشکارسازهای آلی میله‌ای طویل که در مخازن پتروشیمی استفاده می‌شود، پرداخته خواهد شد.

### منابع

[1] G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurements, Third Edition, John Wiley and Sons, New York, 2000.

[2] J.S. Hendricks, et al., MCNPX 2.6.0 Extensions Report LA-UR-08-2216, Los Alamos National Laboratory, New Mexico, United States, 2008.

[3] T.T. Böhlen, F. Cerutti, M.P.W. Chin, A. Fassò, A. Ferrari, P.G. Ortega, A. Mairani, P.R. Sala, G. Smirnov, V. Vlachoudis, *Nuclear Data Sheets* 120 (2014) 211.

[4] GEANT4 Collaboration, *Physics Reference Manual*, (2010) (<http://geant4.web.cern.ch>).

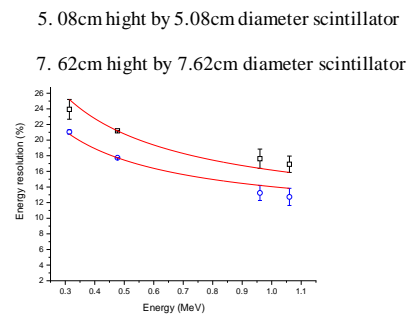
[5] O. Litaize, Simulation of a NE213  $\gamma$ -response function using an improved multi-parameter minimization procedure, *Nuclear Instruments and Methods A* 580, (2007) 98-110.

[6] M. Ranjbar Kohan, et al., Modelling plastic scintillator response to gamma rays using light transport Incorporated FLUKA code, *Applied Radiation and Isotopes* 70, (2012) 864-867.

[7] M. Tajik and N. Ghal-Eh, Comparison of light transport-incorporated MCNPX and FLUKA codes in generating organic scintillators responses to neutrons and gamma rays, *Nuclear Instruments and Methods A* 791, (2015) 65-68.

[8] R. Ghadiri, J. Khorsandi, Studying the response of a plastic scintillator to gamma rays

این شکل به‌منظور مقایسه ضریب  $\beta$  برای دو آشکارساز مقادیر  $\alpha$  و  $\gamma$  یکسان در نظر گرفته شد. خطای نشان داده شده در این شکل، حاصل اختلاف مقدار پیش‌بینی شده به‌وسیله معادله برازشی 3 و مقدار واقعی (قدرت تفکیک انرژی تجربی) می‌باشد. حداکثر خطای مطلق 1/2 و حداکثر خطای نسبی 7% به‌دست آمد. از توابع برازشی این شکل می‌توان قدرت تفکیک انرژی آشکارسازهای NE102 را در بازه انرژی 0/341 MeV تا 1/062 MeV تعیین کرد.



شکل 5. مقایسه تابع قدرت تفکیک انرژی با استفاده از نتایج تجربی برای آشکارساز سوسوزن پلاستیک NE102 به‌شکل استوانه به قطر و ارتفاع 5/08cm و 7/62cm.

### نتیجه‌گیری

تابع پاسخ آشکارساز سوسوزن آلی NE102 و NE213 به تابش‌های گاما با استفاده کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK محاسبه شده است. در این کد تلفیقی با استفاده از توانمندی کارت PTRAC کد MCNPX انرژی ذخیره شده پرتوهای گاما در داخل سوسوزن و ترابرد نور مرئی حاصل از آن با استفاده از کد PHOTRACK با دقت بالا محاسبه شده است. با استفاده از توابع پاسخ شبیه‌سازی و تجربی، بازدهی نورخروجی قدرت تفکیک انرژی آشکارساز سوسوزن آلی با ابعاد مختلف و در انرژی‌های مختلف تابش گاما محاسبه شد. نتایج شبیه‌سازی حاصل با نتایج تجربی و با نتایج شبیه‌سازی تأیید شده دیگران مقایسه شد. خطای نسبی برآورد بازدهی در این محاسبات بین 1% تا حدود 4% و خطای نسبی برآورد قدرت تفکیک انرژی بین 1%

[13] A. A. Nagvi, H. Al-Juwair and K. Gul, Energy resolution tests of 125 mm diameter cylindrical NE213 detector using mono-energetic gamma rays, *Nuclear Instruments and Methods A* 306 (1991) 267-271.

[14] G. Dietze and H. Klein, Gamma-calibration of NE 213 scintillation counters, *Nuclear Instruments and Methods* 193 (1982) 549.

[15] H. Scholermann, H. Klein, Optimizing the energy resolution of scintillation counters at high energies, *Nuclear Instruments and Methods* 169 (1980) 25.

using the Geant4 Monte Carlo code, *Applied Radiation and Isotopes* 99 (2015) 63–68.

[9] M. Tajik, N. Ghal-Eh, G.R. Etaati, H. Afarideh, Modelling NE213 scintillator response to neutrons using an MCNPX-PHOTRACK hybrid code, *Nuclear Instruments and Methods A* 704 (2013) 104–110.

[10] N. Ghal-Eh, M.C. Scott, R. Koohi-Fayegh, M.F. Rahimi, A photon transport model code for use in scintillation detectors, *Nuclear Instruments and Methods A* 516 (2004) 116–121.

[11] W. H. Press, et al., Numerical Recipes in FORTRAN 77, Cambridge University, Press, Cambridge, 1992.

[12] H. H. Knox and GT. Miller, A technique for determining bias settings for organic scintillators, *Nuclear Instruments and Methods* 101 (1972) 519.