



نشریه تابش و فناوری هسته‌ای، سال دوم، شماره 4، زمستان 1394

طراحی و شبیه‌سازی یک سیستم فرضی جهت کشف مواد منفجره بر مبنای تکنیک PGNAA

مهدی امیری^{1*}، سجاد بیات²، حمید شفائی دوک³، سید محمد هاشمی نژاد⁴

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

² کارشناسی ارشد، دانشگاه امیر کبیر، تهران، ایران

³ کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

⁴ کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: 1394/05/17 - تاریخ پذیرش مقاله: 1394/8/25)

چکیده

مواد منفجره شامل عناصری از قبیل H, C, N, O با مقدار و نسبت‌های مشخص می‌باشند. عناصر نیتروژن و اکسیژن نسبت به بقیه فراوان‌تر هستند و این مقدار از نیتروژن یک مشخصه عالی برای کشف مواد منفجره می‌باشد. با تعیین میزان نیتروژن انباشته در محیط، می‌توان به احتمال وجود ماده منفجره در آن محیط پی برد. در این مقاله جهت کشف و آشکارسازی مواد منفجره، از تکنیک آنالیز گامای آنی در فعالسازی نوترونی (PGNAA) استفاده شده است. به کمک این روش می‌توان بسته‌های مشکوک و چمدان‌های محتوی مواد منفجره را شناسایی و از ورود آن به داخل سازمان‌های دولتی، موسسات نظامی، فرودگاه‌ها، بنادر، سفارتخانه‌ها، بانک‌ها، نیروگاه، سازمان‌های بزرگ و شرکت‌های حساس جلوگیری نمود. هسته نیتروژن تقریباً همزمان با جذب نوترون‌های حرارتی طیف تابش گامایی با انرژی $10/83 \text{ MeV}$ از خود ساطع می‌نماید. در سیستم طراحی شده از چشمه Cf بعنوان مولد نوترون و آشکارساز $NaI(Tl)$ جهت دریافت گامای منتشره استفاده شده است. در این سیستم، جهت شبیه‌سازی ترابرد نوترون - فوتون از کد $MCNPX2.6$ استفاده گردیده است. در طراحی این سیستم از ضخامت‌های مختلف پارافین به منظور کندسازی نوترون و نیز ضخامت‌های مختلف سرب جهت رعایت اصول حفاظ‌سازی و فیزیک بهداشت استفاده شد. سیستم طراحی شده قادر به شناسایی ماده منفجره NG با وزن 323 گرم در مدت زمان 10 دقیقه و شناسایی ماده منفجره NG با وزن 1023 گرم در مدت زمان یک دقیقه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مواد منفجره، آشکارسازی، نوترون حرارتی، کد MCNP، تکنیک PGNAA.

* تهران، بزرگراه شهید چمران، خیابان یمن، میدان شهید شهریاری، بلوار دانشجو، کد پستی 1983969411.

پست الکترونیکی: mah.amiri@mail.sbu.ac.ir

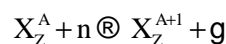
1. مقدمه

عنصری پرترفدار که در پروژه‌های صنعتی استفاده می‌شود تکنیک آنالیز گامای آنی در فعالسازی نوترونی ($^{60}\text{PGNAA}$) می‌باشد [11,12]. در تکنیک $^{60}\text{PGNAA}$ پرتوهای گامای آنی از طریق پراکندگی ناکشسان نوترون و واکنش‌های گیراندازی نوترون حرارتی تولید می‌شوند. کارایی سیستم $^{60}\text{PGNAA}$ به انرژی نوترون و سطح مقطع‌های برخورد با ماده بستگی دارد [11,13]. روش $^{60}\text{PGNAA}$ یک ابزار غیر مستقیم جهت شناسایی مواد مشکوک در قطارها یا کشتی‌ها، شناسایی مین‌های زیر خاک و مواد منفجره می‌باشد [14]. $^{60}\text{PGNAA}$ یک روش غیر مخرب برای تشخیص مواد، با مزایای و اصول کاربردی متعدد در زمینه‌های مختلف از جمله مطالعات باستان شناسی، زغال سنگ و صنعت نفت، استفاده‌های پزشکی، تشخیص مواد منفجره و مواد مخدر می‌باشد [15]. در این مطالعه، جهت کشف و آشکارسازی مواد منفجره با استفاده از کد MCNP مدلی از یک سیستم مطلوب با میزان دز دریافتی مجاز طراحی شده است.

2. مواد و روش کار

با توجه به رابطه 1، پس از جذب یک نوترون حرارتی توسط یک هسته، ایزوتوپ جدیدی با عدد جرمی یک واحد بیشتر به وجود می‌آید.

(1)



این ایزوتوپ به طور آنی یک پرتوی گاما که خاص آن هسته است، گسیل می‌کند. انرژی گامای تابشی مساوی با انرژی جدایی نوترون از هسته جدید است. معمولاً هر عنصر پس از جذب نوترون چند پرتو گامای آنی با شدت متفاوت گسیل می‌کند. از میان آنها، پرتوهایی که دارای شدت و انرژی بیشتری

از آنجا که وجود مواد منفجره در بسته‌های مشکوک و چمدان‌های مسافران، امنیت و جان انسان‌ها را به مخاطره می‌اندازد، مسأله کشف و آشکارسازی مواد منفجره و جلوگیری از ورود آنها به سازمان‌های دولتی، موسسات نظامی، فرودگاه‌ها، بنادر، سفارتخانه‌ها، بانک‌ها، نیروگاه و سازمان‌های بزرگ، شرکت‌های حساس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از جمله روش‌های کشف و آشکارسازی می‌توان به بازرسی دستی، آشکارسازی به روش بویایی و روش‌های هسته‌ای اشاره کرد. روش‌های هسته‌ای - ای برای آشکارسازی مواد منفجره بر نفوذ پرتوهای گاما یا نوترون به داخل نمونه و آشکارسازی و اندازه‌گیری محصولات واکنش استوار است. در اغلب این واکنش‌ها، یک تابش گاما با انرژی‌های مشخص درگیر می‌شود که مانند اثر انگشت مشخصه ایزوتوپ‌های موجود در ماده هست.

روش‌های هسته‌ای جهت شناسایی مواد، به دو فرایند اصلی، اولاً تغییر در انرژی یک هسته هدف، که در اثر برهم کنش بین یک پرتابه ورودی و هسته هدف ایجاد می‌گردد و ثانیاً اندازه‌گیری انواع انرژی‌ها و کمیت‌های پرتو پخش شده پس از برهمکنش صورت گرفته است، بستگی دارند [1]. برای شناسایی مواد، می‌توان از واکنش‌های نوترونی القا شده مانند (n, g) و $(n, n\alpha)$ استفاده کرد [2,3]. برای شناسایی مواد منفجره به طور گسترده از تکنیک‌های نوترونی استفاده می‌شود [4]. این تکنیک‌ها عبارتند از: فعالسازی نوترون حرارتی ^1TNA [5,6]، فعالسازی نوترون سریع ^2FNA [7]، فعالسازی نوترون سریع پالسی $^3\text{PFNA}$ [8,9]، فعالسازی نوترون سریع پالسی حرارتی شده $^4\text{PFTNA}$ [10]. یکی از تکنیک‌های آنالیز

¹ Thermal Neutron Analysis

² Fast Neutron Analysis

³ Pulsed Fast Neutron Analysis

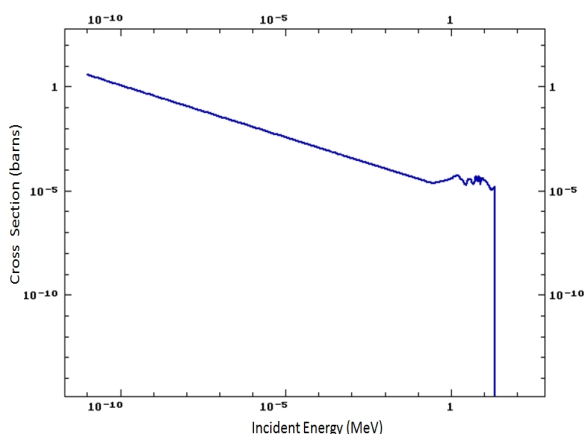
⁴ Pulsed Fast-Thermal Neutron Analysis

⁵ Prompt Gama Neutron Activation Analysis

را دارد لذا با ضخامت کند کننده کمتری می توان به نوترون های حرارتی دست پیدا کرد که در جدول 2 اطلاعاتی در مورد چشمه مربوطه آمده است. چشمه ^{252}Cf با توجه به اطلاعات شرکت سازنده آن دارای شدت نوترونی $1.15 \times 10^7 \text{ n/s}$ می باشد [17].

جدول 1. عناصری که در برخورد با نوترون حرارتی انرژی گامای آزاد شده از آنها در محدوده 10-11 MeV است [16]

Eg (keV)	هسته هدف	Eg (keV)	هسته هدف
10044/10	^{57}Fe	10594/50	^{75}Se
10054/14	^{59}Ni	10594/60	^{61}Ni
10061/90	^{14}N	10607/27	^{29}Si
10100/50	^{25}Mg	10641/92	^{47}Ti
10200/60	^{29}Si	10697/80	^{14}N
10496/90	^{77}Se	10829/11	^{14}N

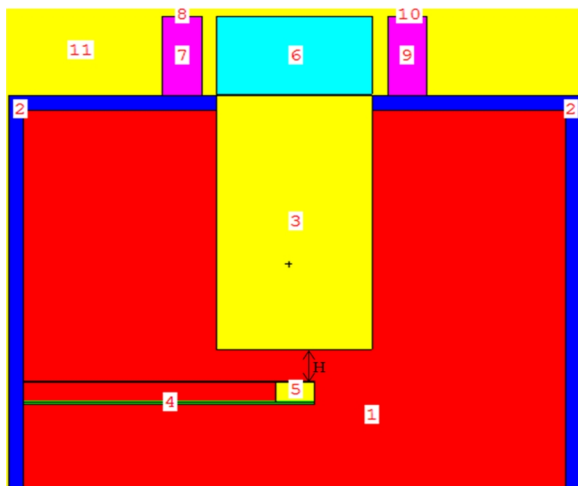


شکل 1. سطح مقطع برخورد نوترون با هسته ^{14}N [16]

بوده و با پرتوهای گامای ناشی از عناصر دیگر تداخل نمی کنند برای شناسایی آن عنصر مورد استفاده قرار می گیرند [15]. مقدار انرژی پرتوی گاما، یک مقدار خاص بوده و همان طور که در جدول 1 آمده است تعداد محدودی از عناصر هستند که می توانند انرژی پرتوی گامای ناشی از برخورد نوترون حرارتی با هسته خود در بازه 10-11 MeV داشته باشند.

با توجه به شکل 1 که بیانگر سطح مقطع گیراندازی ^{14}N بر حسب انرژی نوترون می باشد، سطح مقطع گیراندازی برای نوترون های حرارتی در حدود 0/75 بارن است. پرتوهای گامای آنی که پس از جذب نوترون از هسته برانگیخته ^{15}N گسیل می شوند دارای انرژی 10/83 MeV هستند. از آنجا که ^{15}N هسته پایدار است، هیچ گامای تاخیری ایجاد نمی کند. از طرفی سطح مقطع ^{15}N برای جذب نوترون های حرارتی 0/0004 بارن است. بنابراین حتی در صورت جذب نوترون توسط هسته های ^{15}N که منجر به تشکیل ایزوتوپ پرتوزای ^{16}N با نیم عمر 7/2 ثانیه می شود، میزان پرتوهای گامای تاخیری در مقایسه با پرتوهای گامای آنی بسیار کم و غیرقابل آشکارسازی خواهد بود. مهمترین ویژگی پرتوهای گامای آنی حاصل از جذب نوترون در نیتروژن، انرژی بالای آنهاست که مانع از تداخل آنها با پرتوهای گامای حاصل از برهمکنش نوترون با عناصر دیگر و همچنین پرتوهای گامای زمینه می گردد و راحت تر قابل تشخیص است [15].

پس از واکنش جذب نوترون های حرارتی توسط هسته ایزتوپ پایدار ^{14}N ، هسته برانگیخته ^{15}N تولید شده و بلافاصله با انتشار گامای آنی با انرژی 10/83 MeV به حالت پایدار خود می رسد. بنابراین تولید نوترون های حرارتی، اولین مرحله از طراحی سیستم مورد نظر می باشد. از آنجا که برای انجام این مطالعه نیاز به تولید نوترون های حرارتی می باشد و از طرفی نیز در بین چشمه های رادیواکتیو، ^{252}Cf پایین ترین میانگین انرژی



شکل 2. سطح مقطع سیستم شبیه سازی شده

همانطوریکه از روی شکل 2 پیداست، جهت آشکارسازی پرتوهای گامای ناشی از واکنش $N^{14}(n, \gamma)N^{15}$ از دو آشکارساز سستیلاتور NaI(Tl) که درست روبروی حجم فعالسازی قرار می گیرند، استفاده گردیده است. حجم فعالسازی در این سیستم همانطوریکه مشاهده می شود، با ابعاد $20 \times 20 \times 10$ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. اندازه ضخامت لایه کندکننده در مقابل حجم فعالسازی (H)، با توجه به محدودیت های ذکر شده، در بخش بعدی محاسبه خواهد شد.

3. شبیه سازی و تحلیل نتایج

3.1. محاسبه انرژی شار نوترون ها روی حجم

فعالسازی

اکنون به تعیین ضخامت لایه کندکننده H مقابل حجم فعالسازی پرداخته می شود. از آنجا که رعایت اصول فیزیک بهداشت اولین اولویت در طراحی سیستم های هسته ای و بویژه نوترونی است، لذا ضخامت لایه مذکور می بایست طوری انتخاب گردد که دز معادل بر روی سطوح جانبی سیستم نزدیک به مقدار دز مجاز باشد. برای شروع محاسبات، هندسه سیستم نوترونی با ضخامت 20 سانتیمتری پارافین و 0/1

جدول 2. اطلاعات چشمه به کار رفته در طراحی سیستم

واپاشی Cf^{252} و انتشار نوترون های حاصل از شکافت خود به خودی	نیمه عمر (شکافت خود به خودی):
85 سال	2.3×10^9 نوترون بر ثانیه به ازای هر میلی گرم Cf^{252}
میانگین انرژی نوترون:	2 MeV
فعالیت ویژه:	20 گیگا بکرل به ازای هر میلی گرم Cf^{252}

انرژی متوسط نوترون های تولید شده توسط چشمه Cf^{252} حدود 2 MeV می باشد. لذا باید با کاهش انرژی نوترون ها و یا عبارتی با کند نمودن نوترون ها تا حد دمای محیط (انرژی نوترون های حرارتی 0/025ev)، احتمال واکنش گیراندازی را افزایش دهیم. جهت کند نمودن نوترون های سریع از پارافین با چگالی $0/89 \text{ gr/cm}^3$ استفاده گردید. برای محاسبات دزیمتری و رعایت اصول فیزیک بهداشت از کد MCNPX2.6 استفاده شد. در شکل 2 مقطع جانبی سیستم نوترونی پیشنهادی نشان داده شده است. نواحی نشان داده شده بصورت زیر می باشد:

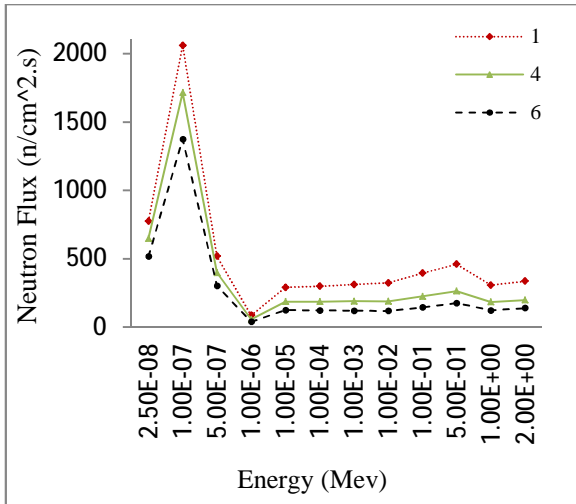
- 1- ماده کندکننده 2- حفاظ سربی 3- کانال عبور نوترون ها
- 4- محل قرارگیری لوله جهت ورود و خروج چشمه 5- محل قرارگیری چشمه 6- حجم فعالسازی (نمونه) 7- محل قرارگیری آشکارسازها 8- حفاظ سربی آشکارساز 9- محل قرارگیری آشکارسازها 10- حفاظ سربی آشکارساز 11- محیط به فاصله یک متر از چشمه.

سانتیمتر سرب و ضخامت‌های مختلف H با مقادیر 1، 4 و 6 سانتیمتر تعریف گردید. همانطور که از شکل 3 مشخص است با کاهش ضخامت لایه پارافین، شار نوترونی تقریباً در تمامی طیف افزایش می‌یابد. به ویژه این افزایش در ناحیه پر انرژی در جائیکه ضخامت لایه پارافین از 4 به 1 سانتیمتر کاهش می‌یابد، محسوس‌تر می‌باشد.

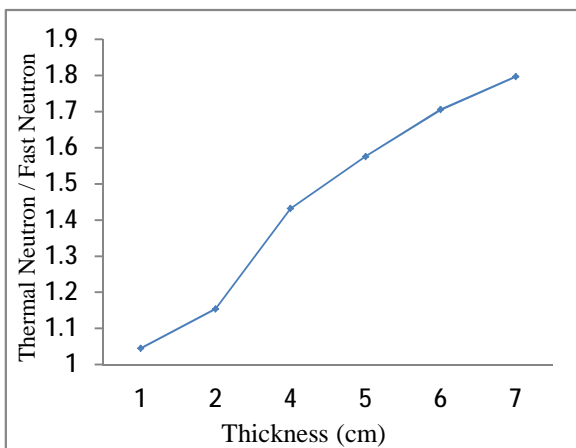
3.2. محاسبه ضخامت لایه کند کننده

همچنین با توجه به شکل 4، با افزایش ضخامت لایه H نسبت نوترون‌های حرارتی به سریع بیشتر می‌شود که هر چه به نسبت بالاتری از این مقدار دست پیدا شود مطلوب‌تر است. اما با توجه به شکل 5 مشکلی که از افزایش بدون محدودیت ضخامت H پیش می‌آید به مراتب مهم‌تر از افزایش نسبت نوترون‌های حرارتی به نوترون‌های سریع و آن افزایش دز معادل بر روی سطوح سیستم می‌باشد.

همانطور که در شکل 5 مشاهده می‌شود، با افزایش ضخامت لایه H از 1 سانتیمتر تا 4 سانتیمتر دز معادل بر روی سطوح سیستم کاهش می‌یابد (در شکل 6 سطوح 4، 5 و 6 سطوح بیرونی لایه پارافین و سطوح 8، 9، 10 و 11 سطوح بیرونی لایه سرب می‌باشد). از طرفی با افزایش این ضخامت از 4 سانتیمتر بیشتر علی‌رغم اینکه نسبت نوترون‌های حرارتی به سریع افزایش می‌یابد، باعث می‌شود دز معادل نیز افزایش یابد. به عبارتی بهینه‌ترین حالت ممکنه برای ضخامت لایه کندکننده جهت شروع محاسبات دزیمتری و رسیدن به یک هندسه مطلوب مقدار 4 سانتیمتر می‌باشد.



شکل 3. طیف انرژی شار نوترون‌ها بر روی حجم فعا سازی مطابق با ضخامت‌های مختلف H

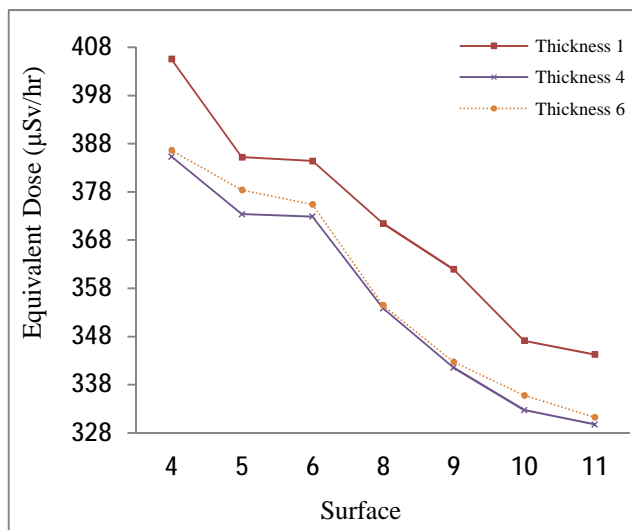


شکل 4. نسبت نوترون‌های حرارتی به سریع بر روی ضخامت‌های مختلف H

هنگامی که از ضخامت 20 سانتیمتری پارافین و همچنین 0/1 سانتیمتری سرب در سیستم استفاده می شود دز معادل خیلی بیشتر از حد مجاز بوده و لذا می بایست ضخامت پارافین را افزایش داد. برای این کار ضخامت های 22، 24، 26، 28، 30، 32، 34 و 35 پارافین با همان ضخامت 0/1 سانتیمتر سرب مورد بررسی قرار گرفت که نتایج دز معادل بر روی سطح 8 به ترتیب برابر 266/95، 207/53، 162/67، 129/10، 104/06، 85/30، 70/38 و 64/18 میکروسیورت بر ساعت شد. از آنجا که مقدار دز معادل مجاز برابر 25 میکروسیورت بر ساعت می باشد [18]، و با توجه به مقدار دز مجاز می بایست ضخامت سیستم زیاد شود و از طرفی چون افزایش ضخامت سیستم باعث افزایش وزن و حجم سیستم و افزایش تابش گاما می شود، لذا برای کاهش میزان دز معادل روی سطوح از عنصر سرب استفاده شد.

عنصر سرب جاذب قوی برای تابش گاما می باشد. لذا از ضخامت های متفاوت سرب برای کم کردن میزان دز معادل به مقدار دز مجاز استفاده شد. با توجه به اطلاعات جدول 3 از ماده سرب به ضخامت 1/80 سانتیمتر در محیط پیرامون سیستم جهت کاهش دز معادل بر روی سطوح استفاده شد.

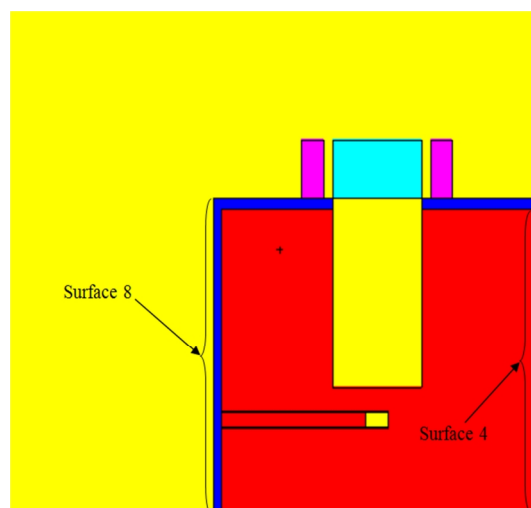
همچنین با توجه به شکل 7 مشاهده می شود تاثیر 1/80 سانتی متر از ماده سرب که در لایه بیرونی سیستم مورد نظر بکار رفته است بسیار بسزا بوده است به گونه ای که مقدار شار گاما بر روی سطوح 9 و 10 و 11 (سطوح بیرونی پارافین) نسبت به سطوح 4 و 5 و 6 (سطوح بیرونی سرب) تا 3/5 برابر کاهش یافته است.



شکل 5. دز معادل برای سطوح مختلف به ازای ضخامت های متفاوت لایه H

3.3. بررسی ابعاد سیستم

حال به بررسی و تحلیل ابعاد سیستم جهت رسیدن به یک هندسه سیستم مطلوب پرداخته می شود. با توجه به شکل 6 برای بررسی مقدار دز مجاز بر روی سطوح سیستم، سطح شماره 8 سیستم انتخاب شد.

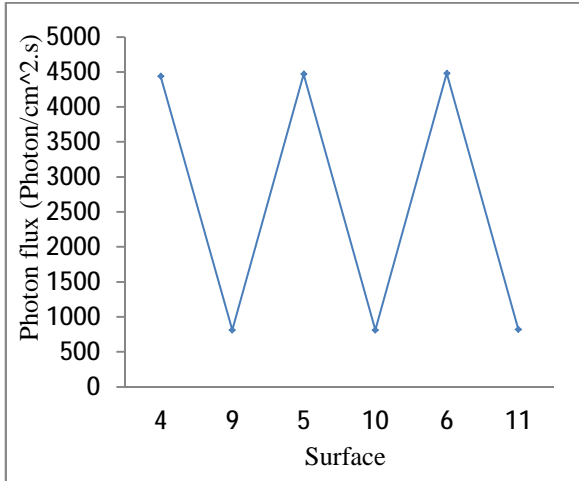


شکل 6. سطح شماره 8 سیستم

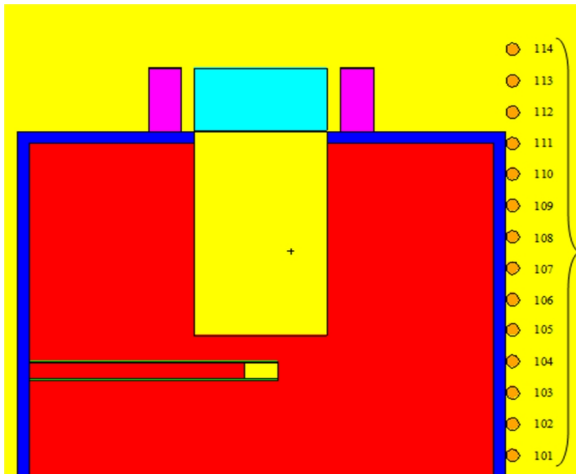
برای حضور اپراتور تعیین نمود. با توجه به اینکه این مقدار در ناحیه کنترل شده دز می باشد [18]، می تواند مقدار قابل قبولی برای محاسبات انجام شده باشد، لذا سیستم طراحی شده از جنبه فیزیک بهداشت ایمن و مورد اطمینان می باشد.

جدول 3. مقدار دز معادل بر روی سطوح بر حسب میکروسیورت بر ساعت در ضخامت های متفاوت سرب (cm)

سطح	8	9	10	11
ضخامت	38/35	36/74	37/06	37/23
	22/56	21/77	21/50	21/97
	29/14	28/35	27/90	28/37
	27/96	26/98	26/40	26/91
	26/47	25/81	25/22	25/48
	25/75	24/92	24/37	24/82
	25/66	24/75	24/29	24/71
	25/52	24/63	24/22	24/52
	25/38	24/53	24/11	24/46
	25/14	24/39	23/95	24/34
	24/95	24/29	23/83	24/23
	24/86	24/19	23/70	24/11

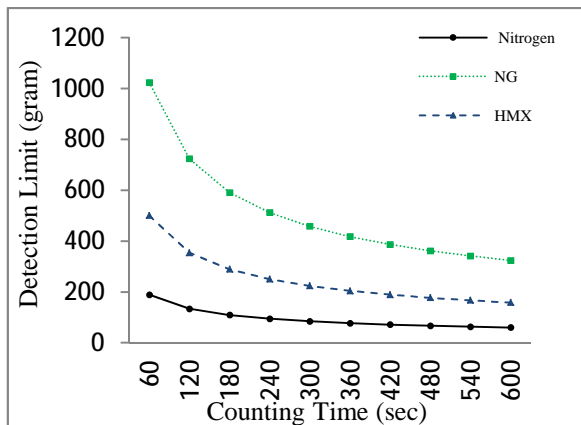


شکل 7. شار فوتون های گسیل شده از سیستم بر روی سطوح مختلف سیستم

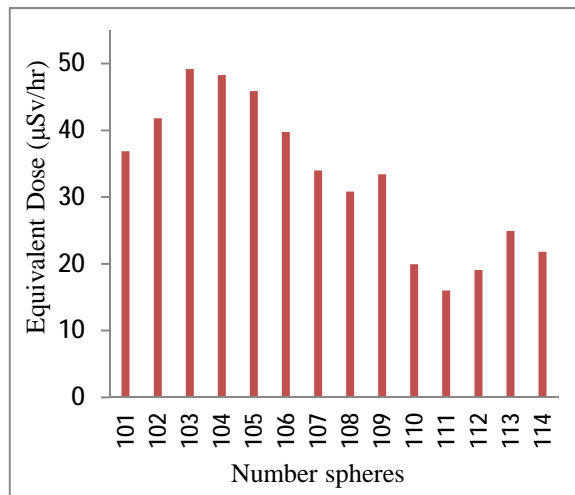


شکل 8. نمایش کره هایی جهت انجام محاسبات دزیمتری

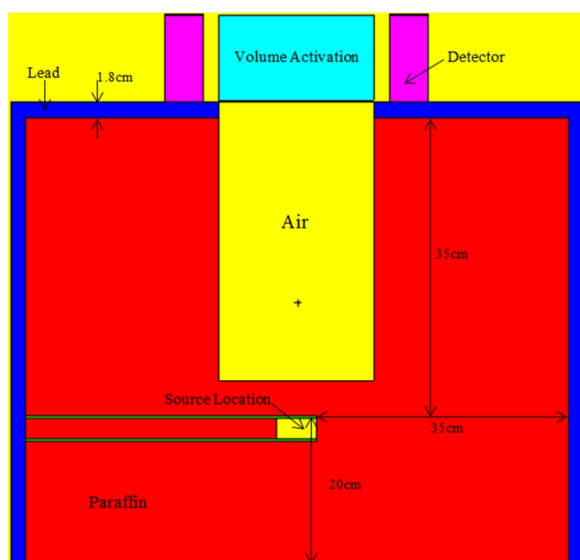
همچنین برای نمایش اینکه بیشترین دز بر روی سیستم طراحی شده در چه منطقه ای قرار دارد، از آنجا که بیشتر بافت بدن را آب تشکیل می دهد، با توجه به شکل 8 یک سری کره های کوچک از جنس آب به فاصله یک میلیمتری از دیواره سیستم و در مکان هایی به فاصله های مختلف از سیستم و در ارتفاع های متفاوت در نظر گرفته شد. سپس مقدار دز بر روی سطح آنها محاسبه شده که نتیجه بر این قرار شد که بیشترین مقدار دز ناشی از پرتوهای گامای ساطع شده از چشمه بود. با توجه به شکل 9 بیشترین دز با توجه به طراحی انجام شده بر روی دیواره سیستم درست در مقابل چشمه در حدود 50 میکروسیورت به دست آمد. این مقدار دز محاسبه شده بر روی دیواره سیستم می باشد لذا میتوان یک فاصله مجاز از سیستم را



شکل 10. حد آشکارسازی (گرم) بر حسب زمان شمارش برای عنصر نیتروژن و مواد منفجره NG و HMX



شکل 9. مقدار دز دریافتی هر یک از کره‌ها



شکل 11. سیستم شبیه سازی شده

3.4. حد آشکارسازی سیستم

حد آشکارسازی با توجه به رابطه 2 برای هر عنصر DL^1 با نوسانات پس زمینه و حساسیت شماری عنصری متناسب است:

$$DL = 3.29 [(dB/dt) / t_c]^{0.5} / S \text{ gr} \quad (2)$$

بنابراین با توجه به مقدار S (حساسیت شمارش عنصری)، dB/dt (نرخ زمینه موجود در ناحیه انرژی مربوطه) و t_c (زمانهای مختلف شمارش) حد آشکارسازی قابل پیش بینی خواهد بود [19]. ماده مورد استفاده در شبیه سازی ماده منفجره NG^2 با چگالی $1/6 \text{ gr/cm}^3$ می باشد. حجم فعالسازی مورد نظر برابر 4000 سانتی متر مربع می باشد. با توجه به روابط بالا می توان حد آشکارسازی را برای ماده منفجره NG که محتوی 18/5% نیتروژن می باشد بر حسب زمان شمارش بدست آورد. همانگونه که در شکل 10 نشان داده شده است، سیستم شبیه سازی شده کنونی قادر به شناسایی ماده منفجره NG با وزن 323 گرم در مدت زمان 10 دقیقه و شناسایی ماده منفجره NG با وزن 1023 گرم در مدت زمان یک دقیقه می باشد.

4. نتیجه گیری

با توجه به اصول رعایت شده در این کار، برای رسیدن به یک ابعاد بهینه به جهت استفاده حداقلی از مواد، این سیستم طراحی شده شامل ضخامت 35 سانتیمتری از پارافین در مجاورت چشمه و پس از پارافین ضخامت 1/8 سانتیمتری از سرب جهت اقدامات حفاظتی سیستم می باشد. ضخامت 1/8 سانتیمتری از سرب نشان دهنده تاثیر بسزای سرب در محافظت از اشعه گاما می باشد، لذا استفاده از سرب به عنوان حفاظ برای

¹ Detection Limit

² Nitroglycerin

- [9] D.R. Brown, T. Gozani, R. Loveman, J. Bendahan, P. Ryge, J. Stevenson, F. Liu, M. Sivakumar, Nuclear instruments and Methods in Physics Research A 353, 121-129, 1994.
- [10] G. Vourupoulos, Nuclear Instruments and Methods by Physics Research B, 79, 1993.
- [11] A.A. Naqvi, Radiat. Phys. Chem. 67 (6), 695, 2003.
- [12] B.D. Sowerby, J.S. Watt, Proceedings of the Ninth Pacific Basin Nuclear Conference, Sydney, Australia, 379-385, 1994.
- [13] C. Olivera, J. Salgado, F.G. Carvalho, J. Radioanal. Chem. 216, 191, 1997.
- [14] Strellis, D., Gozani, T.,. Classifying threats with a 14 MeV neutron interrogation system. Appl. Radiat. Isot. 63, 799-803, 2005.
- [15] M.N. Nasrabadi, S. Omid, 2014. Environmental Gamma Dose Evaluation During Explosive Materials Analysis by PGNA Technique Using MCNPX. APM AS2014, 24-27, 2014.
- [16] ه. میری حکیم آباد، ر. کوهی فایق و م. هادی زاده یزدی، کاربرد روش فعال سازی نوترونی در کشف مواد منفجره پلاستیکی، مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد 2، شماره 3، تابستان 1379
- [17] M.A. lone. Data Nucl. Data table; 26,511, 1981.
- [18] sealed radiation sources product information, www.nuclitec.de.
- [19] J. Kenneth Shultis , Richard E. Faw “Radiation Shielding and Radiological Protection,” Handbook of Nuclear Engineering, Springer Science, Business Media LLC , 2010
- [20] L.A. Currie, Limits for qualitative detection and quantitative determination. Application to radiochemistry, Anal. Chem. 40, 586, 1968.
- [21] C. Bruschini, ‘Commercial systems for the Direct Detection of Explosives for Explosive Ordnance Disposal Tasks’, Subsurface Sensing Technologies and Applications 2(3), 301-338, 2001.
- [22] Los Alamos National Laboratory, Rasic Computer Code Collection MCNPX™ 2.6.0, Los Alamos, New Mexico, 2008.
- [23] A.A Naqvi, A Monte Carlo comparison of PGNA system performance using 252Cf neutrons, 2.8 MeV neutrons and 14 MeV neutrons. Nucl. Instrum. Meth. A 511 (3), 400-407, 2003.
- تابش‌های هسته‌ای در مراکز پرتویی ضروری می‌باشد. شکل 11 ابعاد و مواد استفاده شده در شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. از لحاظ مقداری نیز بیشترین دز در حدود 50 میکروسیورت درست در نقطه‌ای مقابل چشمه می‌باشد که با توجه به مقادیر کنترل شده دز در حد قابل قبول می‌باشد. روش استفاده برای شناسایی مواد منفجره از لحاظ زمانی روش نسبتاً طولانی بوده و به طور معمول زمانی در حدود دقیقه تا ده ها دقیقه احتیاج دارد. با توجه به ویژگی‌های سیستم شبیه‌سازی شده، سیستم قادر به شناسایی ماده منفجره NG با وزن 323 گرم در مدت زمان 10 دقیقه و شناسایی ماده منفجره NG با وزن 1023 گرم در مدت زمان یک دقیقه می‌باشد.

مراجع

- [1] Z.B. Alfassi; Chemical analysis by nuclear methods (1994).
- [2] S.M. Khan (Ed.), Proceedings of the 1st International Symposium on Explosive Detection Technology, FAA Technical Center, Atlantic City, 1992.
- [3] P.C. Womble, F.J. Schultz, G. Vourvopoulos, Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B 99, 757-760, 1995.
- [4] A. Buffer, Radiation Physics and Chemistry 71, 853-861, 2004.
- [5] T. Gozani, P. Ryge, P. Shea, C. Seher, R.E. Morgado, IEEE Aerospace and Electronics System Magazine 4 (12), 17-20, 1989.
- [6] A. Kiado, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 245 (3), 695-697, 2001.
- [7] F.D. Brooks, A. Buffler, M.S. Allie, K. Bharuth-Ram, M.R. Nchodu, B.R.S. Simpson, Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A 410, 319-328, 1998.
- [8] W.V. Nunes, A.X. da Silva, V.R. Crispim, R. Schirru, Applied Radiation and Isotopes 56 (6), 937-943, 2002.

- [26] H. Miri-Hakimabad, A.Vejdani-Noghreiyani, H. Panjeh, Gamma shielding effects studies on the ^{252}Cf and $^{241}\text{Am-Be}$ neutron sources. *Asian J Exp Sci*, 21: 249- 258, 2007.
- [27] H. Miri-Hakimabad, H.Panjeh, A.Vejdani-Noghreiyani. Shielding studies on a total-body neutron activation facility. *Iran J Radiat Res*, 5, 45-51, 2007.
- [28] D. Rezaei-Ochbelagha, H. Miri-Hakimabad, R. Izadi Najafabadi, The investigation of Am-Be neutron source shield effect used on landmine detection. *Nucl Instrum Meth, A*, 577, 756-761, 2007.
- [24] H. Miri Hakimabad, H.Panjeh, & A. R. Vejdani, Evaluation the nonlinear response function of a NaI Scintillation detector for PGNAA applications. *Appl. Radiat. Isot. Applied Radiation and Isotopes*, 65, 918–926, 2007.
- [25] AllScan New Generation PGNAAs Elemental Analyser, www.realtimeinstruments.com.

Design and simulation of a hypothetical system for explosives detection based on PGNAA technique

M.Amiri^{1*}, S. Bayat², H.Shabi Dook³, S.M.Hashemi Nejjhad⁴

1 M.Sc.student, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2 M.Sc., Amir Kabir University, Tehran, Iran

3 M.Sc., Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

4 M.Sc., Islamic Azad University Central Tehran Branch, Tehran, Iran

* Corresponding author 's E-mail: mah.amiri@mail.sbu.ac.ir

(Received 2015/08/08: - Accepted: 16/11/2015)

ABSTRACT

Explosives include elements such as H, C, N and O with specific the amount and ratio. Nitrogen and oxygen are more abundant than others and the amount of nitrogen is an excellent characteristic to detect explosives. The Probability of existing explosives in an environment could be found out by acquiring the amount of nitrogen accumulated in the environment. In this paper, the prompt gamma neutron activation analysis (PGNAA) technique has been used in order to detection and identification of explosives. Using this method, one could detect suspicious packages and bags containing explosives and they are prevented to entry into government agencies, military facilities, airports, ports, embassies, banks, power plants, major organizations and sensitive companies. The nitrogen nucleus emits the thermal neutrons and gamma radiation spectrum 10.83 MeV almost at the same time as it absorbs them. In the designed system, the ^{252}Cf source and NaI detector has been used as neutron generator and emitted gamma receiver respectively. MCNPX2.6 code has been exploited to simulate neutron - photon transport In this system. To design this system, different thickness of paraffin and lead have been utilized to moderate neutrons and comply with shielding principles and health physics respectively. The designed system is capable of detecting NG explosive with a weight of 323 g and 1023 g for 10 minutes and one minute respectively.

Keywords: explosives, detection, thermal neutrons, MCNP code, PGNAA technique.