

اندازه‌گیری و محاسبه میزان دز گامای موجود در محیط به هنگام تعیین غلظت نیتروژن مواد منفجره به روش PGNAA و با استفاده از کد MCNPX

مهدی نصری نصرآبادی * سارا امیدی

دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری های نوین، گروه مهندسی هسته ای

چکیده

آشکار سازی مواد منفجره به روش PGNAA از جمله مواردی است که در آن افراد در معرض تابش قرار می‌گیرند. بنابراین اندازه‌گیری میزان دز در مکان‌هایی که از این روش برای آشکار سازی مواد منفجره استفاده می‌کنند، لازم و ضروری می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از کد MCNPX دز گامای موجود در محیط، در حین آشکار سازی مواد منفجره به روش PGNAA محاسبه شد. جهت راستی آزمائی این شبیه سازی، میزان دز در محیط اندازه‌گیری و نتایج با مقادیر حاصل از شبیه سازی مقایسه گردید. بر اساس این تحقیق معلوم گردید که کد MCNPX برنامه مفید و مؤثری در تعیین دز گاما برای محیط‌های مختلف می‌باشد.

کلید واژه‌ها: حفاظت در برابر پرتوها، دزیمتری، تجزیه به روش فعال سازی نوترونی، مواد منفجره، کد MCNPX

۱. مقدمه

استفاده از تابش‌های گاما، هسته‌های رادیو اکتیو و مواد قابل شکافت در زمینه‌های مختلف از جمله پزشکی، صنعت، تحقیقات و تولید انرژی دستاوردهای فراوانی برای بشر به همراه آورده است. با این حال این دستاوردها، متضمن پرتوگیری افراد هنگام تهیه و استفاده از این چشمه‌های رادیواکتیو است. از آنجا که هر نوع پرتوگیری دارای خطراتی برای افراد می‌باشد، بنابراین در زمینه استفاده از تابش، تعیین دز تابش و حفاظت در برابر آن بسیار مهم است. تجزیه به روش فعال سازی نوترونی (PGNAA) از جمله مواردی است که در آن چشمه‌های تابش یک میدان تابشی آمیخته از نوترون و گاما را به وجود می‌آورند.

روش PGNAA یک روش غیر تخریبی برای آشکار سازی عناصر به شمار می‌رود و بنابراین مزایای فراوانی در زمینه مطالعات باستان شناسی، صنعت نفت و ذغال سنگ، کاربردهای پزشکی، آشکار سازی مواد منفجره و مواد مخدر دارد [۶-۱]. در این تحقیق کاربرد روش PGNAA در آشکار سازی مواد منفجره به عنوان یکی از مشکلات مهم در دنیا در نظر گرفته شده است. تحقیقات زیادی در این زمینه به منظور آشکار سازی مین‌های ضد نفر و ضد تانک و بازرسی کیف مسافران در فرودگاه‌ها صورت گرفته است [۷-۱۱]. این روش تجزیه بر اساس اندازه‌گیری تابش‌های گامای آنی که پس از گیر اندازی نوترون توسط هسته‌های هدف گسیل می‌شوند، استوار است [۱۲]. گیراندازی نوترون‌های حرارتی توسط هسته‌های هدف منجر به تشکیل یک هسته مرکب که دارای یک انرژی اضافی است، می‌شود. از این رو هسته‌ای که نوترونی را جذب کرده است، به طور آنی تابش‌های گامای ویژه‌ای که دارای انرژی و شدت معلومی می‌باشد را گسیل می‌کند [۱۳]. هدف این تحقیق

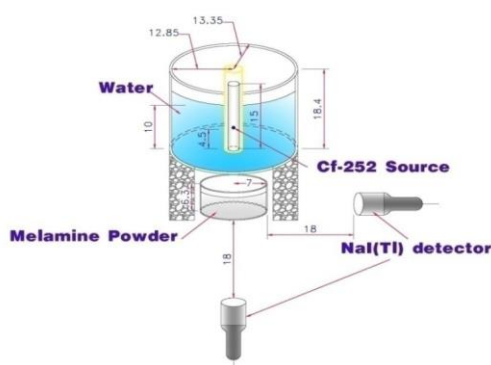
اندازه‌گیری دز گاما در شرایط آزمایشگاهی در حین تعیین غلظت نیتروژن مواد منفجره با استفاده از روش PGNAA و مقایسه نتایج آزمایش با نتایج به دست آمده از کد MCNPX می‌باشد. تعیین دز گاما در این تحقیق می‌تواند به طراحی حفاظ‌های مناسب در مکان‌هایی که از روش PGNAA برای آشکار سازی مواد منفجره استفاده می‌کنند، کمک کند.

۲. شبیه سازی

در این تحقیق از نرم افزار MCNPX برای شبیه سازی برهم‌کنش‌های گاما و نوترون در مواد و محاسبه دز گاما در هر نقطه دلخواه استفاده شده است. تالی F^5 برای محاسبه شار به کار می‌رود و برای محاسبه دز، تالی F^5 همراه با تالی‌های DE^5 و DF^5 به کار می‌روند. تالی‌های DE^5 و DF^5 با استفاده از ضرایب تبدیل، شار را به دز تبدیل می‌کنند [۱۴].

۳. روش انجام آزمایش

در این تحقیق از پودر ملامین به عنوان یک ماده مشابه با مواد منفجره استفاده شد. ملامین مورد استفاده در این تحقیق به صورت پودری سفید رنگ با فرمول $C_2H_7N_6$ و چگالی 1.07 g/cm^3 و درصد خلوص 99.8% بود. پودر ملامین به صورت سه نمونه ۱۰۰، ۳۰۰، و ۵۰۰ گرمی آماده و مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین از ^{252}Cf ، به عنوان چشمه نقطه‌ای نوترونی برای پرتو دهی نمونه استفاده شد. این چشمه با نیمه عمر 2.65 سال، نوترون‌های سریع با انرژی میانگین 2.348 MeV و شار $6.17 \times 10^6 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ گسیل می‌کند. برای حرارتی کردن این نوترون‌ها، از آب استفاده گردید. جهت انجام آزمایش در ابتدا یک نقطه به عنوان مبدأ مختصات در نظر گرفته و چند نقطه دیگر نسبت به مبدأ مشخص گردید. اندازه‌گیری‌ها بر روی میزان دز گاما در این نقاط انجام شد. یکی از نمونه‌های آماده شده زیر ظرف حاوی آب در نقطه مرجع مطابق شکل (۱) قرار گرفت.



شکل ۱. نمایی از هندسه‌ی سیستم آزمایشگاهی

پیش از قرار گیری چشمه نوترونی درون لوله مرکزی ظرف، میزان دز زمینه اندازه‌گیری شد که برابر با $0.12 \mu\text{Sv/h}$ به دست آمد که این مقدار بایستی برای هر اندازه‌گیری دیگری در حضور چشمه از مقدار به دست آمده کم می‌شد. بعد از اندازه‌گیری میزان دز زمینه، چشمه نوترونی به درون لوله مرکزی منتقل شده و هر نمونه به مدت یک ساعت پرتو دهی شد. همچنین پرتو دهی با نوترون‌های حرارتی به مدت یک ساعت در غیاب نمونه نیز صورت گرفت. میزان دز گاما در اطراف این سیستم و روی نقاطی که از قبل تعیین شده بودند بر حسب $\mu\text{Sv/h}$ اندازه‌گیری شد.

۴. بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی تغییرات آهنگ دز بر حسب فاصله حین تعیین غلظت نیتروژن مواد منفجره به روش PGNAA، به صورت عملی و محاسباتی پرداخته شد و همچنین میزان دز مطلق با استفاده از کد MCNPX محاسبه گردید. پس از کم کردن دز زمینه از میزان دز به دست آمده در هر نقطه، دز گاما برای آن نقطه خاص منظور گردید. آزمایش یکبار در حضور سه نمونه ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ گرمی از ملامین و یکبار بدون حضور ملامین انجام گرفت. جدول (۱) دز گامای به دست آمده در هر نقطه را برای هر چهار مورد نشان می‌دهد.

جدول ۱. آهنگ دز گامای به دست آمده در آزمایشگاه برای چهار حالت وزنی ملامین بر حسب $\mu\text{Sv/h}$

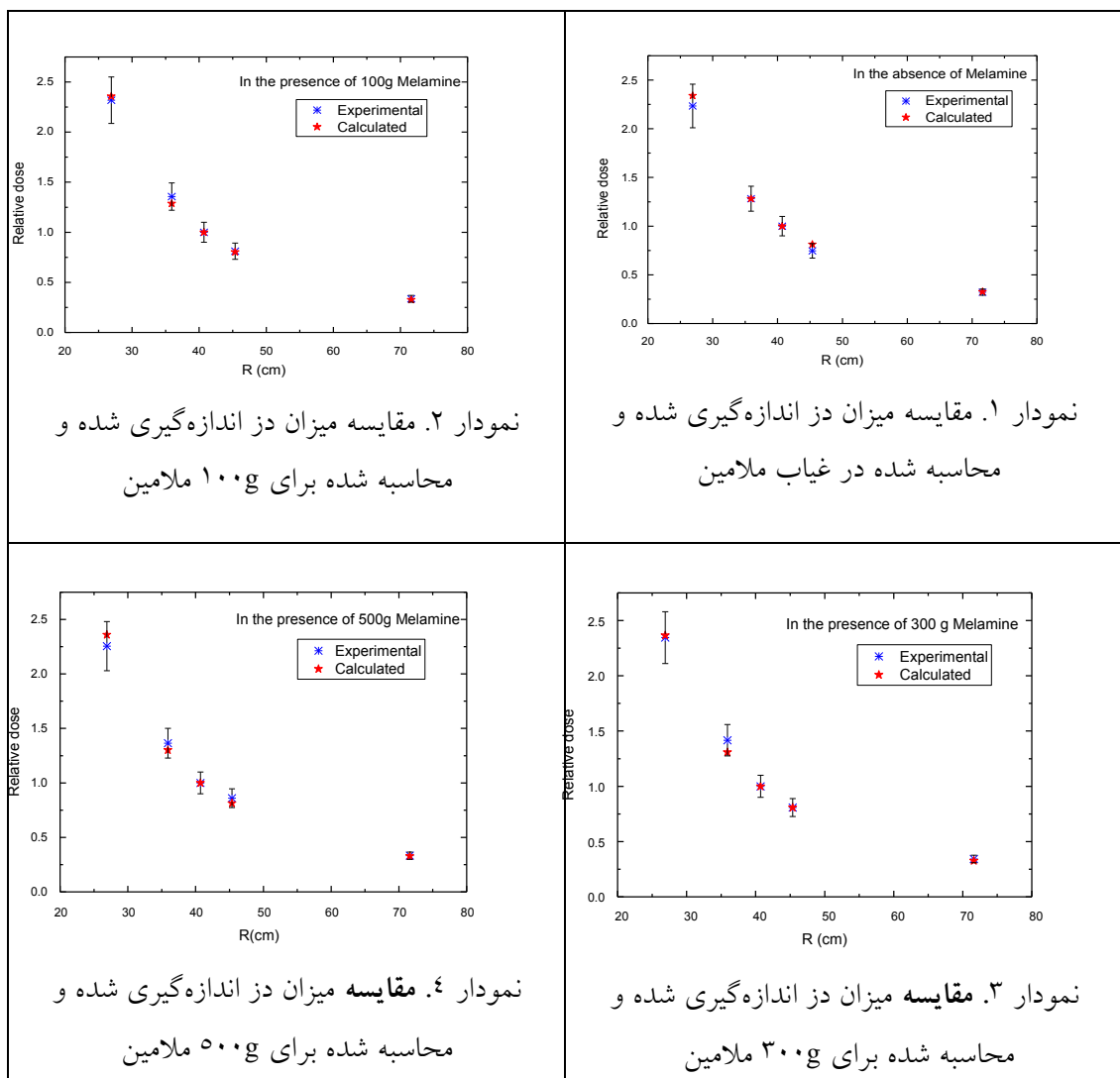
(x, y, z)	R(cm)	۰g	۱۰۰g	۳۰۰g	۵۰۰g
(۱۳/۳۵, ۲۳/۳۵, ۰)	۲۶/۹۰	۳/۶۲۸۵	۳/۸۱۸۶	۳/۹۵۰۰	۴/۰۸۵۰
(۱۳/۳۵, ۳۳/۳۵, ۰)	۳۵/۹۲	۲/۰۸۱۴	۲/۲۳۴۰	۲/۳۸۶۰	۲/۴۷۱۰
(-۲۳/۳۵, ۳۳/۳۵, ۰)	۴۰/۷۱	۱/۶۲۴۰	۱/۶۴۷۰	۱/۶۸۴۰	۱/۸۱۱۶
(۱۳/۳۵, ۴۳/۳۵, ۰)	۴۵/۳۶	۱/۲۱۲۰	۱/۳۳۶۰	۱/۳۶۰۰	۱/۵۵۷۰
(۱۳/۳۵, -۷۰/۳۵, ۰)	۷۱/۶۱	۰/۵۲۲۸	۰/۵۵۳۵	۰/۵۷۷۴	۰/۶۰۲۰

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش فاصله از چشمه و کاهش مقدار گرم نمونه، میزان دز گاما کاهش می‌یابد. هندسه این سیستم آزمایشی با استفاده از کد MCNPX شبیه سازی و میزان دز گاما برای شرایطی مشابه، چه به لحاظ مقدار نمونه و چه به لحاظ محل قرار گیری دزیتر محاسبه شد. داده‌های به دست آمده از کد در جدول (۲) خلاصه شده است. نتایج حاصل از محاسبات با داده‌های تجربی در نمودارهای (۱) تا (۴) مقایسه شده‌اند.

جدول ۲. آهنگ دز گامای به دست آمده توسط کد برای چهار حالت وزنی ملامین بر حسب

$(\mu\text{Sv/h})/(\text{particles}/\text{cm}^2.\text{sec})$

(x, y, z)	R (cm)	g ^۰	g ^{۱۰۰}	g ^{۳۰۰}	g ^{۵۰۰}
(۰, ۲۳/۳۵, ۱۳/۳۵)	۲۶/۹۰	$7E-5/71336$	$7E-5/84725$	$7E-6/1959$	$7E-6/11614$
(۰, ۳۳/۳۵, ۱۳/۳۵)	۳۵/۹۲	$7E-3/13096$	$7E-3/19359$	$7E-3/32524$	$7E-3/37204$
(۰, ۳۳/۳۵, -۲۳/۳۵)	۴۰/۷۱	$7E-2/44158$	$7E-2/48126$	$7E-2/54401$	$7E-2/59283$
(۰, ۴۳/۳۵, ۱۳/۳۵)	۴۵/۳۶	$7E-1/98327$	$7E-1/99106$	$7E-2/50593$	$7E-2/10771$
(۰, -۷۰/۳۵, ۱۳/۳۵)	۷۱/۶۱	$8E-7/96342$	$8E-8/08653$	$8E-8/30654$	$8E-8/48058$



با توجه به نمودارهای (۱) تا (۴)، مشاهده می‌شود که داده‌های به دست آمده از آزمایش در توافق خوبی با داده‌های محاسبه شده توسط کد هستند و خطای نسبی بین مقادیر آزمایشگاهی و محاسباتی کمتر از ۱۰٪ است. بنابراین میزان دز گامای محاسبه شده توسط کد MCNPX با احتساب خطای ۱۰٪ مورد تأیید قرار گرفت. با تأیید صحت اطلاعات به دست آمده از کد می‌توان مقدار آهنگ دز را در هر شرایط دیگری نیز محاسبه کرد. جدول‌های (۳) تا (۶) میزان دز مطلق محاسبه شده توسط کد را نشان می‌دهند. در این جدول‌ها میزان خطای نسبی بین داده‌های آزمایش و کد نیز محاسبه شده‌اند.

جدول ۳. میزان دز مطلق محاسبه شده توسط کد و مقایسه آن با دز اندازه‌گیری شده در غیاب ملامین بر حسب

$\mu\text{Sv/h}$

R(cm)	Exp. dose	Cal. dose	Relative error
۲۶/۹۰	۳/۶۲۸۵±۰/۳۶۲۸۵	۳/۸۱۰۸±۰/۰۱۴۶	۰/۰۰۰۲
۳۵/۹۲	۲/۰۸۱۴±۰/۲۰۸۱۴	۲/۰۸۸۴±۰/۰۱۳۷	۰/۰۰۳۳
۴۰/۷۱	۱/۶۲۴۰±۰/۱۶۲۴۰	۱/۶۲۸۵±۰/۰۱۳۱	۰/۰۰۲۸
۴۵/۳۶	۱/۲۱۲۰±۰/۱۲۱۲۰	۱/۳۲۲۸±۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۹۱۵
۷۱/۶۱	۰/۵۲۲۸±۰/۰۵۲۲۸	۰/۵۳۱۲±۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۱۵۹

جدول ۴. میزان دز مطلق محاسبه شده توسط کد و مقایسه آن با دز اندازه‌گیری شده برای ۱۰۰g ملامین بر حسب

$\mu\text{Sv/h}$

R(cm)	Exp. dose	Cal. dose	Relative error
۲۶/۹۰	۳/۸۱۸۶±۰/۳۸۱۸۶	۳/۹۰۰۱±۰/۰۱۴۹	۰/۰۰۲۱۴
۳۵/۹۲	۲/۲۳۴۰±۰/۲۲۳۴۰	۲/۱۳۰۱±۰/۰۱۳۶	۰/۰۰۴۶۵
۴۰/۷۱	۱/۶۴۷۰±۰/۱۶۴۷۰	۱/۶۵۵۰±۰/۰۱۳۱	۰/۰۰۰۴۹
۴۵/۳۶	۱/۳۳۶۰±۰/۱۳۳۶۰	۱/۳۲۸۰±۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۰۶۰
۷۱/۶۱	۰/۵۵۳۵±۰/۰۵۵۳۵	۰/۵۳۹۴±۰/۰۱۲۶	۰/۰۰۲۵۵

جدول ۵. میزان دز مطلق محاسبه شده توسط کد و مقایسه آن با دز اندازه‌گیری شده برای ۳۰۰g ملامین بر حسب

$\mu\text{Sv/h}$

R(cm)	Exp. dose	Cal. dose	Relative error
۲۶/۹۰	۳/۹۵۰۰±۰/۳۹۵۰۰	۴/۰۱۱۵±۰/۰۱۵۰	۰/۰۰۱۶۵
۳۵/۹۲	۲/۳۸۶۰±۰/۲۳۸۶۰	۲/۲۱۷۹±۰/۰۱۳۹	۰/۰۰۷۰۴
۴۰/۷۱	۱/۶۸۴۰±۰/۱۶۸۴۰	۱/۶۹۶۹±۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۰۷۶
۴۵/۳۶	۱/۳۶۰۰±۰/۱۳۶۰۰	۱/۳۷۱۳±۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۰۸۳
۷۱/۶۱	۰/۵۷۷۴±۰/۰۵۷۷۴	۰/۵۵۴۱±۰/۰۱۲۶	۰/۰۰۴۰۴

جدول ۶. میزان دز مطلق محاسبه شده توسط کد و مقایسه آن با دز اندازه‌گیری شده برای ۵۰۰g ملامین بر حسب

$\mu\text{Sv/h}$

R(cm)	Exp. dose	Cal. dose	Relative error
۲۶/۹۰	۴/۰۸۵۰±۰/۴۰۸۵۰	۴/۰۷۹۵±۰/۰۱۴۴	۰/۰۰۰۱۴
۳۵/۹۲	۲/۴۷۱۰±۰/۲۴۷۱۰	۲/۲۴۹۲±۰/۰۱۳۶	۰/۰۰۸۹۸
۴۰/۷۱	۱/۸۱۱۶±۰/۱۸۱۱۶	۱/۷۲۹۴±۰/۰۱۳۰	۰/۰۰۴۵۴
۴۵/۳۶	۱/۵۵۷۰±۰/۱۵۵۷۰	۱/۴۰۵۸±۰/۰۱۲۶	۰/۰۰۹۷۱
۷۱/۶۱	۰/۶۰۲۰±۰/۰۶۰۲۰	۰/۵۶۵۷±۰/۰۱۲۶	۰/۰۰۶۰۴

بنابراین با مشخص بودن شار چشمه نوترونی می‌توان دز مطلق را با استفاده از کد محاسبه کرد و همان‌طور که در جدول‌های (۷) تا (۱۰) مشاهده می‌شود، میزان دز مطلق محاسبه شده توسط کد با میزان دز اندازه‌گیری شده در توافق خوبی هستند. به این ترتیب می‌توان آهنگ دز را در هر نقطه دلخواه یا برای هر اندازه دلخواه از ظرف نمونه با استفاده از کد MCNPX محاسبه کرد. همچنین می‌توان آهنگ دز را برای نمونه‌های مختلف از جمله مواد منفجره که امکان استفاده از آنها در آزمایشگاه مقدور نبود، محاسبه کرد.

قدردانی

بر خود لازم می‌دانیم که از کلیه دست اندرکاران محترم سازمان انرژی اتمی اصفهان که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند و همچنین مسئولین محترم شرکت پتروشیمی ارومیه که در تهیه مواد مورد نیاز آزمایش نهایت همکاری را داشتند، کمال تشکر و قدردانی را به عمل آوریم.

مراجع

- [۱] Nair, A.G.C., et al., Nucl. Inst. Methods Phys. Res. A ۵۱۶ (۲۰۰۴) ۱۴۳-۱۴۸.
- [۲] Nasrabadi, M.N., et al., J. Appl. Radiat. Isot. ۶۷ (۲۰۰۹) ۱۲۰۸-۱۲۱۲.
- [۳] Im, H.-J., et al., J. Appl. Radiat. Isot. ۶۷ (۲۰۰۹) ۱۴۵۸-۱۴۶۲.
- [۴] Chichester, D.L., Empey, E., J. Appl. Radiat. Isot. ۶۰ (۲۰۰۴) ۵۵-۶۱.
- [۵] Király, B., et al., Nucl. Inst. Methods Phys. Res. B ۲۱۳ (۲۰۰۴) ۴۵۲-۴۶۵.
- [۶] Nasrabadi, M.N., et al., Nucl. Inst. Methods Phys. Res. B ۲۶۳ (۲۰۰۷) ۴۷۳-۴۷۶.
- [۷] Clifford, E.T.H., et al., Nucl. Inst. Methods Phys. Res. A ۵۷۹ (۲۰۰۷) ۴۱۸-۴۲۵.
- [۸] Im, H.-J., et al., Nucl. Inst. Methods Phys. Res. A ۵۶۶ (۲۰۰۶) ۴۴۲-۴۴۷.
- [۹] Viesti, G., et al., Nucl. Inst. Methods Phys. Res. A ۴۲۲ (۱۹۹۹) ۹۱۸-۹۲۱.
- [۱۰] Gozani, T., et al., Nucl. Inst. Methods Phys. Res. A ۵۰۵ (۲۰۰۳) ۴۸۲-۴۸۵.
- [۱۱] Hussein, M.A., et al., ۷۳(۲۰۰۵) ۷-۱۹.
- [۱۲] Degenaar, I.H., ۲۰۰۴, Ph.D. Thesis.
- [۱۳] Nunes, W.V., et al., J. Appl. Radiat. Isot. ۵۶ (۲۰۰۲) ۹۳۷-۹۴۳.
- [۱۴] MCNPX- Version ۲,۴,۰, LA-CP-۰۲-۴۰۸, ۲۰۰۲.