

بهینه سازی آهنگ فعالسازی در فانتوم انسان در دستگاه IVNAA

عطیه ابراهیمی خانکوک، سید هاشم میری حکیم آباد*، لاله رفعت متولی

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک هسته ای

چکیده:

لازمه استفاده از روش فعالسازی نوترونی در تعیین مقدار عناصر بدن، یکنواخت بودن آهنگ فعالسازی است. از عواملی که موجب از بین رفتن یکنواختی می شود، شکل پیچیده بدن انسان است. در پژوهشی که پیش از این صورت گرفت، تاثیر جنس پیش کندکننده بر یکنواختی در فانتوم آب بررسی شد و پارافین برای افزایش یکنواختی انتخاب گردید. در این مقاله تلاش می شود که شکل پیش کندکننده برای بهینه کردن یکنواختی در فانتوم انسان طراحی شود. ابتدا پیش کندکننده به صورت صفحه و مکعب توپر در نظر گرفته شد. سپس صفحاتی با ضخامت متناسب با بخش های مختلف فانتوم مورد بررسی قرار گرفت که CV کمتری نسبت به دو حالت دیگر ایجاد کردند. ($CV=18.86\%$)

کلیدواژه: یکنواختی فعالسازی نوترونی، دستگاه IVNAA^۱، فانتوم انسان، ضریب پراکندگی CV^۲

مقدمه:

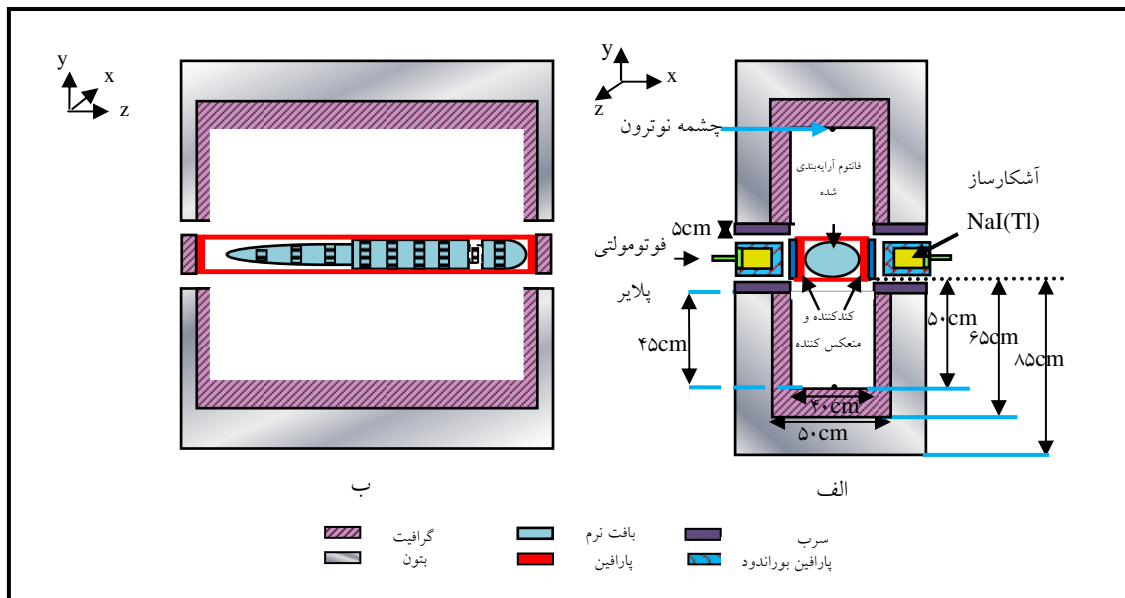
ایده ای اولیه ای استفاده از فعالسازی نوترونی جهت آنالیز مواد، در اواسط دهه ی ۳۰ میلادی مطرح شد [۱]. در این روش، نمونه موردنظر در معرض تابش نوترون قرار گرفته و با آشکارسازی گامای گسیل شده از آن، مقدار عنصر درون نمونه تخمین زده می شود. این روش، برای اولین بار در سال ۱۹۶۴، برای اندازه گیری عناصر کم مقدار بدن مورد استفاده قرار گرفت [۲]. پس از آن، گروه های مختلفی به صورت جداگانه به تحقیق و پژوهش پرداختند. مبنای اصلی این پژوهش ها، طراحی چیدمان برای افزایش میزان یکنواختی آهنگ فعالسازی در فانتوم بود. نوع چشمه، یک طرفه یا دو طرفه بودن پرتو دهی، شکل و جنس مواد به کاررفته در دستگاه، تاثیر حضور و عدم حضور ماده پیش کندکننده و همچنین جنس و ضخامت این ماده از جمله عواملی بودند که در این مطالعات مورد بررسی قرار گرفتند. محققان در اغلب این فعالیت ها، به دلیل سادگی و پیشگیری از عوارض ناشی از قرار گرفتن انسان در برابر نوترون، از فانتوم مکعب آب به جای انسان استفاده کردند. از میان گزارش های منتشر شده از اواخر دهه ۶۰ تا اواخر دهه ۷۰ میلادی، تنها دو گزارش در زمینه

^۱ In Vivo Neutron Activation Analysis

^۲ Coefficient of Variation

توصیف و بررسی یکنواختی در بخش‌هایی در اعماق مختلف فانتوم توسط نلپ^۳ و چامبرلین^۴ ارائه گردید [۴،۳].

از سال ۱۹۸۰ به مدت ۱۰ سال روند بهینه‌سازی دستگاه، به شدت کند شد. از دلایل کم شدن فعالیت‌ها در این دوره، عدم دسترسی محققان به کدهای قوی و رایانه‌های سریع بود. با افزایش سرعت رایانه‌ها و قدرت روش‌های محاسباتی پس از سال ۱۹۹۰، شبیه‌سازی به عنوان ابزاری قوی جایگاه ویژه‌ای در این فعالیت‌ها پیدا کرد. استیماتلاتوس^۵ به عنوان یکی از پرکارترین محققان در زمینه یکنواختی در این دوران، با انتشار چندین مقاله، به بررسی نوع چشمه و جنس و ضخامت ماده منعکس‌کننده، پیش‌کندکننده و هم‌خط‌ساز در میزان یکنواختی پرداخت [۵،۶]. مرکز تحقیقات فعالسازی نوترونی دانشگاه فردوسی مشهد نیز، با هدف توسعه چیدمان مرکز موناخ، مقالاتی در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ منتشر کرد [۸،۷]. عواملی مانند نوع چشمه، شکل و جنس هم‌خط‌ساز، منعکس‌کننده و کندکننده برای ایجاد یکنواختی در مکعب آب، در این مقالات بهینه شد. از طرفی، در مطالعه‌ای که اخیراً صورت گرفت، پارافین به عنوان بهترین گزینه برای جنس ماده پیش‌کندکننده با جایگذاری فانتوم آب در دستگاه IVNAA این مرکز، انتخاب شد [۹]. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر شکل پیش‌کندکننده بر افزایش یکنواختی در فانتوم انسان است.



^۳ Nelp

^۴ Chamberlain

^۵ Stamatelatos

روش کار:

شکل ۱-الف دستگاه IVNAA را نشان می‌دهد. در این سیستم، پرتودهی به صورت دوطرفه موازی با چهار چشمه Am-Be انجام می‌شود. هم‌خط‌ساز، مکعبی و از جنس گرافیت با حفاظ بتونی در نظر گرفته شده است. در دو طرف فانتوم دو جفت آشکارساز 3 اینچ NaI(Tl) قرار دارند که توسط پارافین بوراندود و سرب در مقابل نوترون‌ها و گاماها چشمه حفاظت می‌شوند. همچنین در چهارطرف فانتوم صفحات منعکس‌کننده و کندکننده از جنس گرافیت و پارافین برای افزایش یکنواختی تعبیه شده است.

فانتوم استفاده شده در این کار، فانتوم ریاضی ۵ سال، مطابق بر آخرین تصحیحات مؤسسه ORNL است. با توجه به این که جنس اکثر اعضای داخلی بدن بافت نرم می‌باشد، در تقریب مرتبه اول، صرف نظر از اعضای داخلی و استخوان بندی، تنها قالب بدن که حاوی بافت نرم می‌باشد روی تخت قرار می‌گیرد. اعضای فانتوم شامل سر، گردن، تنه و پاها هستند.

می‌توان نشان داد که یکنواختی آهنگ فعالسازی، با یکنواختی شار نوترون‌های حرارتی رابطه مستقیم دارد [۹]. از این رو، برای محاسبه آن، تغییرات شار نوترون‌های حرارتی در نمونه بررسی می‌شود. برای بیان یکنواختی از کمیت CV که نشان‌دهنده میزان انحراف داده‌ها از مقدار میانگین است، استفاده می‌گردد. هر چه مقدار CV کمتر باشد، توزیع یکنواخت‌تر است. محاسبه CV به صورت زیر انجام می‌شود. در این رابطه σ انحراف از معیار \bar{X} میانگین داده‌ها (شار نوترون حرارتی) می‌باشد:

$$\%CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

برای بررسی یکنواختی در بدن، آرایه‌هایی در بخش‌های مختلف فانتوم تعریف شده و در نهایت مقدار CV برای تمامی سلول‌ها، با پیش‌کندکننده‌های مختلف مقایسه می‌شود. مشخصات این آرایه‌ها در جدول ۱ ذکر شده است. مکان آرایه‌ها نیز در شکل ۱-ب نشان داده شده است. تعداد کل سلول‌ها در بدن ۱۲۶ سلول است.

در مرحله اول، صفحات پارافین در دو سمت بالا و پایین فانتوم قرارداد شد. ضخامت این صفحات از ۱cm تا ۲/۶cm با گام افزایشی ۰/۲cm انتخاب گردید و مقدار یکنواختی در کل بدن بررسی شد. در گام بعد، با توجه به نتایج بدست آمده از مکعب آب و از آنجایی که بافت نرم و پیش‌کندکننده هر دو غنی از هیدروژن هستند، شکل پیش‌کندکننده به گونه‌ای طراحی شد که مجموع ضخامت بافت و پارافین در تمام قسمت‌ها مقدار ثابتی باشد. در واقع هرچه ضخامت بافت در بخشی از بدن کمتر باشد، برای افزایش شار نوترون حرارتی در آن و دستیابی به یکنواختی بهتر به ضخامت بیشتری از پیش‌کندکننده نیاز است. وجود کندکننده در بخش‌های کم‌عمق، باعث افزایش توان کندکنندگی و در نتیجه افزایش شار در این قسمت‌ها می‌شود. استفاده از یک مکعب توپر از جنس پارافین در اطراف بدن، این امکان را فراهم می‌کند که ضخامت پیش-کندکننده متناسب با ضخامت بدن تغییر کند. به گونه‌ای که در بخش‌های عمیق ضخامت پارافین کمتر و در

بخش های کم عمق بیشتر است. به همین دلیل در مرحله دوم از مکعب پارافین محاط بر بدن استفاده شد. به نظر می رسد با این روش یکنواختی در کل بدن افزایش یابد.

جدول ۱ مختصات مرکز آرایه و ابعاد آن در هر قسمت فانتوم برای محاسبه ی شار در عمق

ابعاد آرایه	مختصات مرکز آرایه	تعداد سلولها در عضو	مکان آرایه
$2 \times 2 \times 1 \text{ cm}^3$	$x = 0, z = 52,60$	۱۸	سر
$2 \times 2 \times 1 \text{ cm}^3$	$x = 0, z = 42,45$	۸	گردن
$4 \times 4 \times 1 \text{ cm}^3$	$x = 0, z = 35,7$	۱۵	بخش اول تنه
$4 \times 4 \times 1 \text{ cm}^3$	$x = 0, z = 25,5$	۱۵	بخش دوم تنه
$4 \times 4 \times 1 \text{ cm}^3$	$x = 0, z = 15,30$	۱۵	بخش سوم تنه
$4 \times 4 \times 1 \text{ cm}^3$	$x = 0, z = 5,10$	۱۵	بخش چهارم تنه
$4 \times 2 \times 1 \text{ cm}^3$	$x = \pm 2, z = -8$	2×10	بخش اول پا
$4 \times 2 \times 1 \text{ cm}^3$	$x = \pm 2,61, z = -24$	2×6	بخش دوم پا
$4 \times 4 \times 0,5 \text{ cm}^3$	$x = \pm 2,2, z = -40$	2×4	بخش سوم پا

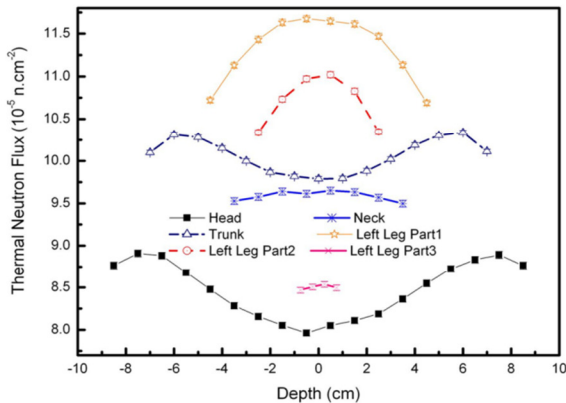
در مرحله سوم با بررسی موضعی یکنواختی در بدن و تعیین ضخامت مناسب پارافین برای هر بخش از فانتوم، مجدداً صفحاتی از پارافین در دو طرف فانتوم تعبیه شد که ضخامت آنها در هر بخش با توجه به ضخامت بهینه آن بخش انتخاب گردید. این ضخامت ها در جدول ۲ آورده شده است.

در این مقاله برای شبیه سازی از کد محاسباتی MCNPX 2.4.0 استفاده شد. خروجی های کد با خطای نسبی کمتر از ۲٪ می باشد. تعداد برنامه های اجرا شده ۱۵ برنامه است. به دلیل ابعاد بسیار کوچک برخی از سلولها، برای دریافت نتایج قابل اعتماد، مدت اجرای برنامه ها به طور متوسط ۷۰ ساعت به طول انجامید.

نتایج:

نمودارهای شکل ۲ و شکل ۳ الف و ب، توزیع عمقی شار در بخش های مختلف فانتوم با سه پیش کندکننده پیشنهادی را نشان می دهند. همان طور که از نمودارها مشخص است، در حالت اول و با استفاده از صفحه پارافین، توزیع شار یکنواختی کمی دارد. بررسی موضعی یکنواختی شار نوترون در بخش های مختلف در این حالت نشان داد که در بخش های عمیق مثل تنه و سر فانتوم، می توان با ضخامت $1,2$ تا $1,6 \text{ cm}$ به یکنواختی مناسبی دست پیدا کرد و افزایش ضخامت بیش از این، موجب افت شدید شار می گردد. اما در بخش های کم عمق رسیدن به یکنواختی بهینه با ضخامت های بیشتر امکان پذیر است. بهترین ضخامت بدست آمده در این مرحله برای هر بخش در جدول ۲ آمده است.

استفاده از مکعب پارافین برخلاف انتظار، باعث جذب بالا در عمق فانتوم شده و همان یکنواختی اندک حالت اول را نیز در تمامی بخش ها از بین برد. علت این است که اگرچه مکعب پارافین باعث افزایش شار نوترون حرارتی می شود اما چون هیدروژن سطح مقطع جذب بالایی برای نوترون های حرارتی دارد، شار نوترون در عمق فانتوم به شدت کاهش می یابد.



جدول ۲ ضخامت بهینه در بخش های مختلف بدن

عضو	ضخامت پارافین (cm)
سر	۱٫۲
گردن	۲٫۰
بخش اول تنه	۱٫۶
بخش دوم تنه	۱٫۴
بخش سوم تنه	۱٫۲
بخش چهارم تنه	۱٫۶
پا	۲٫۸

شکل ۲ توزیع عمقی شار در بخش های مختلف با بهترین ضخامت

شکل سوم پیش کندکننده، نسبت به دو حالت قبل نتیجه بهتری ایجاد کرد. یکنواختی به صورت موضعی نیز در این حالت بهبود یافت. جدول ۳ نتایج حاصل از پیش کندکننده های مختلف را نشان می دهد.

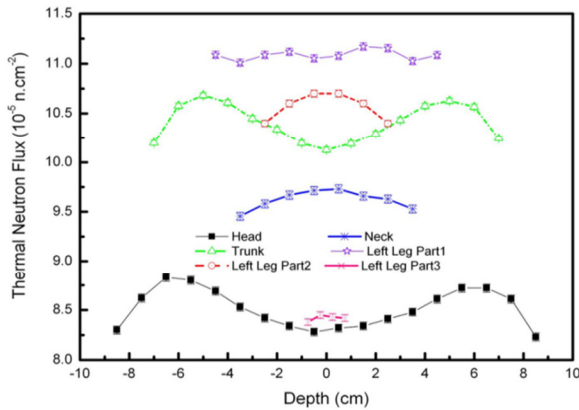
جدول ۳ مقدار شاخص یکنواختی و شار میانگین در توزیع عمقی در کل آرایه ها

شکل پیش کندکننده	% CV	شار میانگین ($10^{-7} \text{ n.cm}^{-2}$)
صفحه پارافین با ضخامت ۱٫۸cm	۹٫۶۸۵	۱۰٫۰۸۳
مکعب پارافین	۱۲٫۹۷۸	۷٫۵۱۴
صفحه پارافین با ضخامت بهینه	۸٫۸۶۹	۱۰٫۰۶۷

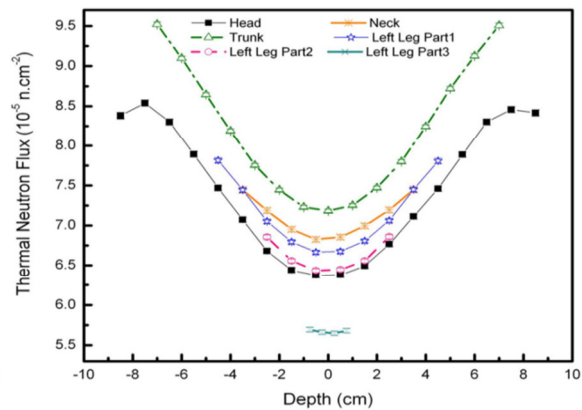
مشاهده می شود که کمترین مقدار ضریب پراکندگی با شکل سوم پیش کندکننده حاصل می شود. در این حالت، یکنواختی موضعی نیز بهبود یافته و پراکندگی شار در بخش های مختلف کمتر می باشد.

نتیجه گیری:

نتایج بررسی ها در دستگاه IVNAA دانشگاه فردوسی نشان داد پیش کندکننده ای که ضخامت آن متناسب با عمق فانتوم در بخش های مختلف باشد، یکنواختی را به خوبی افزایش می دهد. افزایش یکنواختی باعث کاهش خطای سیستماتیک شده و دقت اندازه گیری را بالا می برد. اگرچه تعداد سلول های تعریف شده در این کار محدود است، اما برآورد نسبتاً خوبی از یکنواختی در کل بدن را ارائه می دهد. لازم است در ادامه کار با لحاظ کردن اعضای داخلی و استخوان بندی و همچنین شبکه بندی کل بدن به بررسی دقیق تر یکنواختی پرداخته شود.



ب



الف

شکل ۳ توزیع عمقی شار در بخش های مختلف الف-پیش کندکننده مکعبی ب- پیش کندکننده بهینه

مراجع:

- [1] Hevesy & Levi. Action of slow neutrons on rare earth elements. Nature **137**:185-185, 1936
- [2] Anderson, Osborn, Tomlinson, Newton, Rundo, Salmon & Smith. Neutron activation analysis in man in vivo. A new technique in medical investigation. Lancet **2**:1201-1205, 1964
- [3] Nelp, Palmer, Murano, Pailthorp, Hinn, Rich, Williams, Rudd & Denney. Measurement of total body calcium (bone mass) in vivo with the use of total body neutron activation analysis. Lab. Clin. Med **76**:151-162, 1970
- [4] Chamberlain, Fremlin, Holloway & Peters. Use of the cyclotron for whole body neutron activation analysis. Appl. Radiat. Isot. **21**:725-734, 1970
- [5] Stamatelatos, Chettle, Green and Scott. Design studies related to an in vivo neutron activation analysis facility for measuring total body nitrogen. Phys. Med. Biol. **37**:1657-1674, 1992
- [6] Stamatelatos, Dilmanian, Ma, Lidofsky, Weber, Pierson, Kamen & Yasumura, Calibration for measuring total body nitrogen with a newly upgraded prompt gamma neutron activation facility. Phys. Med. Biol. **38**:615-626, 1993
- [7] Miri Hakimabad & Rafat Motavalli. Improving the uniformity of the gamma production rate distribution with depth in a large biological sample for an IVNAA facility. Journal of Nuclear Technology and Radiation Protection. **24**:119-125, 2009
- [8] Miri Hakimabad & Rafat Motavalli. Investigation of Activation Rate Uniformity in a Prompt- γ Rays IVNAA Facility. Journal of Radiation Research. **51**:123-130, 2010
- [9] عطیه ابراهیمی خانکوک، سید هاشم میری حکیم آباد، لاله رفعت متولی، بهینه سازی یکنواختی آهنگ فعالسازی در فانتوم آب در دستگاه IVNAA، چهارمین همایش ملی فیزیک دانشگاه پیام نور، آبان ۱۳۸۹