

طراحی اتاق درمان BNCT برای چشمه مولد نوترون D-T

مهدی پوریاوی^۱، سید فرهاد مسعودی^۱، فائزه رحمانی^۲^۱ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده فیزیک^۲ دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای، گروه کاربرد پرتوها

چکیده

در این تحقیق، محاسبات مربوط به حفاظ سازی با استفاده از کد MCNP، جهت طراحی اتاق درمان نوترون تراپی با بور (BNCT) انجام گرفته است. چشمه بکار گرفته شده در اتاق، چشمه نوترونی D-T است که اخیراً طراحی مربوط به مجموعه شکل دهنده طیف آن (BSA) انجام گرفته است. بدین منظور ضخامت حفاظ اصلی و فرعی اتاق به منظور رسیدن به حد تعیین شده آهنگ دز معادل $1 \mu\text{Sv/hr}$ ، به ترتیب ۹۰ و ۶۰ سانتیمتر انتخاب شده است. در حفاظ فرعی، با پنجره ای از جنس شیشه ساده و به شکل پلکانی برای مشاهده موقعیت بیمار و در نظر گرفتن راهرویی پیچ در پیچ به طول ۹/۸۵ متر و ۲ سانتی متر سرب به عنوان درب ورودی می توان به مقدار آهنگ دز کمتر از حد تعیین شده در بیرون اتاق رسید.

Design the treatment room for BNCT based D-T neutron source

Pouryavi, Mehdi¹; Masoudi, Seyed Farhad¹; Rahmani, Faezeh²¹ Department of Physics, K.N. Toosi University of Technology, Tehran² Department of Radiation Application, ShahidBeheshti University, Tehran

Abstract

In this article, designing of the BNCT treatment room has been studied for a recent proposed D-T neutron source. We conducted radiation shielding calculations by using the MCNP-X code. The geometries and thicknesses of the different parts of the treatment room have been optimized in such a way that the equivalent dose rate out of the treatment room to be less than $1 \mu\text{Sv/h}$. The results show that, 90 cm thickness of ordinary concrete for primary wall, 60 cm as a secondary wall, 60 cm stepped like plain glass as monitoring window, a maze and an entrance door with 2 cm thickness of lead can be used to reduce the equivalent dose rate out of the treatment room less than critical value.

PACS No. (۲۸)

مقدمه

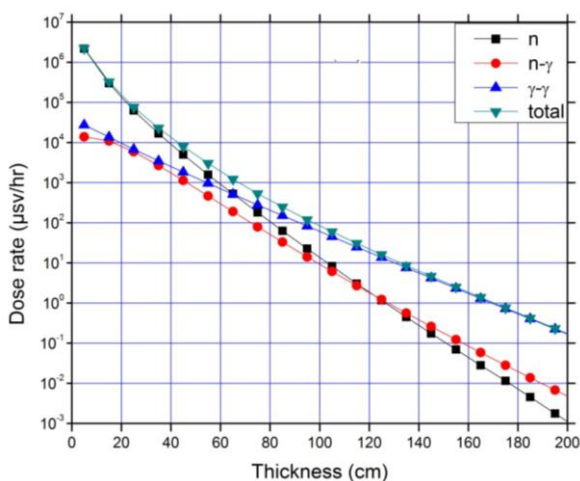
دوتریم و تریتم، طی واکنش $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$ نوترون هایی با انرژی ۱۴/۱ MeV و شار تقریبی $10^{13}-10^{14}$ n/s تولید می کند. بدلیل قدرت نفوذ بالای نوترون و گاما، امکان نشت آنها به بیرون از سیستم زیاد بوده و از اینرو جهت جلوگیری از دریافت دز نامطلوب توسط پزشک و پرسنل در خارج از اتاق، در اطراف سیستم باید طراحی حفاظ مناسب انجام پذیرد [۳-۴]. این طراحی

نوترون تراپی با بور (BNCT) یکی از روش های مؤثر در درمان تومورهای سرطانی است که در آن با تابش پرتوهای نوترون به منطقه تومور، ذرات آلفا و لیتیم حاصل از واکنش $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ با از دست دادن انرژی خود در ابعاد سلولی، باعث از بین رفتن سلول های سرطانی می شوند [۱-۲]. چشمه نوترونی مورد مطالعه در این تحقیق، چشمه D-T است که بر اساس فرآیند همجوشی

حاضر در چشمه (n- γ) و فوتونهای تولید شده در واکنش گیراندازی (γ - γ)، مورد محاسبه قرار گرفته اند، بدین منظور ابتدا از تالی F4 برای بدست آوردن شار و سپس با استفاده از کارت های DE و DF، ضرایب تبدیل شار به دز برای رسیدن به آهنگ دز معادل اعمال گردیده است. حد تعیین شده آهنگ دز معادل بر اساس پیشنهاد NCRP151 برابر با مقدار $1 \mu\text{sv/hr}$ در نظر گرفته شده است [۷]. در طراحی اتاق، دیواری که در مقابل چشمه است به عنوان حفاظ اصلی و دیوار های کناری، عقب، سقف و کف، حفاظ فرعی محسوب می شوند. در حفاظ سمت راست چشمه، پنجره ای به منظور پایش موقعیت بیمار در حین درمان، و در حفاظ فرعی سمت چپ طراحی راهروی اتاق انجام گرفته است.

نتایج

در حفاظ سازی ها، از بتن معمولی با چگالی 2.35 g cm^{-3} بدلیل ساختار مناسب فیزیکی و هزینه آن استفاده شده است. در حالتی که چشمه رو به جلو و بدون واگرایی باشد، نمودار آهنگ دز معادل در دزیمترهای واقع در امتداد حفاظ اصلی و در مقابل تابش چشمه، مطابق شکل ۱ است. براین اساس ضخامت مناسب بتن برای رسیدن به آهنگ دز مجاز برای حفاظ اصلی 170 سانتیمتر است و برای حفاظ فرعی، این ضخامت 60 سانتیمتر خواهد بود. در حالتی که باریکه درمانی دارای واگرایی باشد، نتایج محاسبات نشان می دهد که ضخامت بهینه حفاظ اصلی و فرعی به ترتیب 90 و 50 سانتیمتر است که شکل ۲ کاهش آهنگ دز در حفاظ اصلی را با چشمه واگرا نشان می دهد.



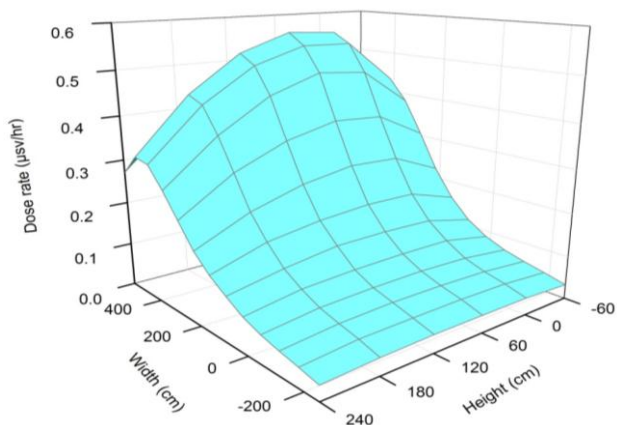
شکل ۱. آهنگ دز معادل در حفاظ اصلی با چشمه بدون واگرایی

مواردی همچون انتخاب مواد حفاظ و تعیین ضخامت آنها، تعیین جنس و ضخامت پنجره اتاق جهت پایش بیمار و نیز راهرو و درب ورودی اتاق را شامل می شود. در این مقاله، به منظور طراحی اتاق درمان برای یک چشمه نوترون طراحی شده جهت BNCT، حفاظ های اصلی و فرعی، در نظر گرفته شده است و ماده و ضخامت بهینه این حفاظ ها به گونه ای تعیین می شود که آهنگ دز دریافتی در پشت حفاظ به کمتر از آهنگ دز تعیین شده برسد. سپس پنجره اتاق از نظر جنس و ضخامت به منظور پایش موقعیت بیمار بررسی شده و در نهایت به محاسبات مربوط به راهروی اتاق پرداخته می شود.

روش کار

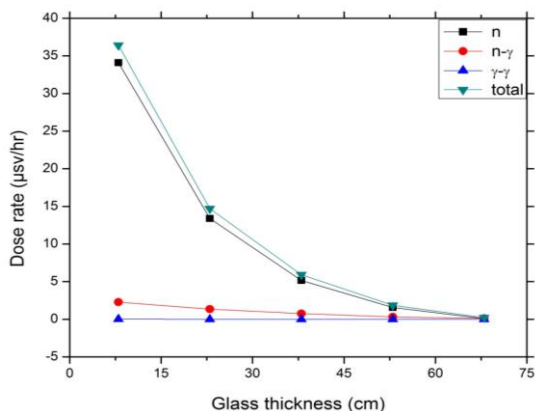
در شبیه سازی های انجام شده از کد محاسباتی MCNP استفاده شده [۵] و به دلیل مشکل عمده طولانی بودن اجرای برنامه ها، از روش های کاهش واریانس استفاده گردیده است. ابعاد 8m طول، 8m عرض و 4m ارتفاع برای اتاق درمان در نظر گرفته شده است که خروجی چشمه نوترونی D-T در ارتفاع 110 سانتی متری از کف اتاق و در فاصله 250 سانتیمتری از دیوار عقب واقع شده است. این چشمه دارای طیف نوترونی مناسبی در خروجی BSA و در محدوده نوترون های فوق حرارتی با انرژی 1eV تا 10keV برای درمان می باشد. در ورودی کد، چشمه بصورت یک قرص با شعاع 6cm به عنوان دهانه خروجی BSA با توزیع زاویه ای متغیر تعریف شده است. توزیع انرژی چشمه نیز بر اساس طیف گزارش شده در مرجع [۶] در نظر گرفته شده است. اگر چه پارامتر J/ϕ این طیف که معیاری از همگرایی پرتو است، از مرتبه 0.8 می باشد، با این حال بدترین حالت ممکن، یعنی $J/\phi=1$ (طیف کاملاً همگرا به سمت حفاظ اصلی) در محاسبات مد نظر قرار گرفته است. علاوه بر نوترون، پرتوهای گاما نیز به عنوان آلودگی در این طیف وجود دارند که در محاسبات مربوط به دزیمتری باید لحاظ گردند. اگرچه وقوع چند نوع واکنش هسته ای برای نوترون ها امکان پذیر است، ولی از دیدگاه فیزیک بهداشت، واکنشهای اصلی نوترون، پراکندگی و گیراندازی هستند که گیراندازی نوترون با گسیل فوتون از هسته جذب کننده همراه است. بنابراین در شبیه سازیهای انجام شده، آهنگ دز معادل ناشی از نوترون (n)، گامای

است بنابراین ۶۰ سانتیمتر بتن برای حفاظ های فرعی مناسب است. شیشه سازی های انجام شده نشان داد که برای حفظ یکنواختی حفاظ اصلی، از ترکیب ۴۰ سانتیمتر پلی اتیلن بوردار (BPE) بعنوان حفاظ نوترونی و ۲۰ سانتیمتر سرب بعنوان حفاظ گاما با ابعاد ۱m×۱m در راستای گسیل چشمه، می توان استفاده کرد که آهنگ دز را به حد تعیین شده برساند (شکل ۷).

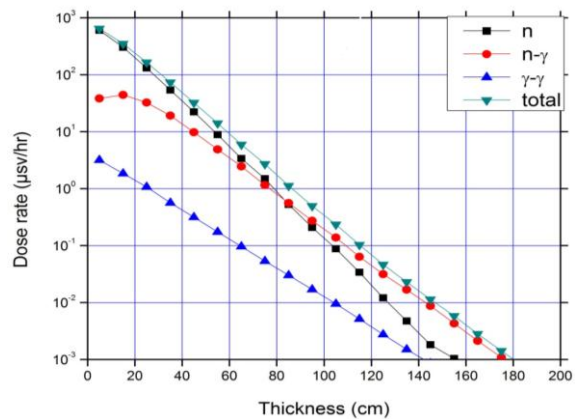


شکل ۴. آهنگ دز معادل با در نظر گرفتن واگرایی چشمه در پشت حفاظ فرعی. موقعیت چشمه $(x,y)=(0,0)$

با توجه به نحوه توزیع آهنگ دز در پشت حفاظ فرعی که در شکل ۴ نشان داده شده، موقعیت پنجره در حفاظ فرعی به گونه ای انتخاب شده است که پراکندگی ذرات از حفاظ اصلی کمتر، آسیب پرتویی رسیده به پنجره کمتر و پایش بیمار به راحتی امکان پذیر باشد، علاوه بر این برای کاهش احتمال نشت ذرات به بیرون از اتاق، پنجره از چهار لایه شیشه ای با ضخامت ۱۵ سانتیمتر، با ابعاد ۱m×۱m، ۸۰cm×۸۰cm، ۶۰cm×۶۰cm و ۴۰cm×۴۰cm به شکل پلکانی از داخل اتاق رو به بیرون تشکیل شده است.

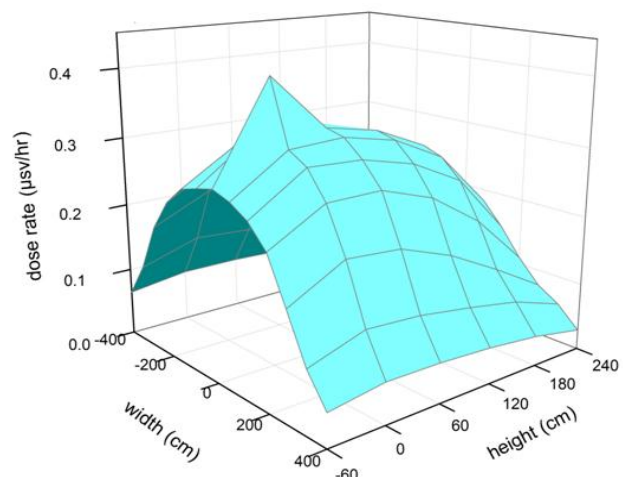


شکل ۵. آهنگ دز معادل در امتداد و پشت پنجره شیشه ای ساده



شکل ۲. آهنگ دز معادل در حفاظ اصلی با در نظر گرفتن واگرایی چشمه

در حالت چشمه واگرا به منظور اطمینان از ضخامت دیوارها، با قرار دادن فانتوم هایی در پشت حفاظ اصلی و فرعی، آهنگ دز در تمامی این نقاط محاسبه گردید. شکل ۳ آهنگ دز معادل را در نقاط پشت حفاظ اصلی نشان می دهد که بر اساس آن ضخامت ۹۰ سانتیمتر برای حالتی که چشمه دارای واگرایی است، ضخامت مطمئنی است.



شکل ۳. آهنگ دز معادل با در نظر گرفتن واگرایی چشمه در پشت حفاظ اصلی.

موقعیت چشمه $(x,y)=(0,0)$

با توجه به اینکه ضخامت حفاظ اصلی در حالت چشمه بدون واگرایی ۱۷۰ سانتیمتر است برای حفظ حاشیه اطمینان در حفاظ سازی و نیز کاهش هزینه، می توان با توجه به واگرایی موجود، تنها در راستای گسیل چشمه ضخامت ۱۷۰ سانتیمتر و در سایر نقاط همان ۹۰ سانتیمتر را در نظر گرفت. برای حفاظ فرعی نیز همانگونه که شکل ۴ نشان می دهد آهنگ دز در همه نقاط واقع در پشت حفاظ فرعی با ضخامت ۶۰ سانتیمتر، کمتر از حد مجاز

بنابراین با قرار دادن درب ورودی با ضخامت حداقل ۲ سانتیمتر از جنس سرب، می توان در بیرون از اتاق به مقدار کمتر از حد تعیین شده رسید (دزیتر شماره ۱۷- شکل ۶).

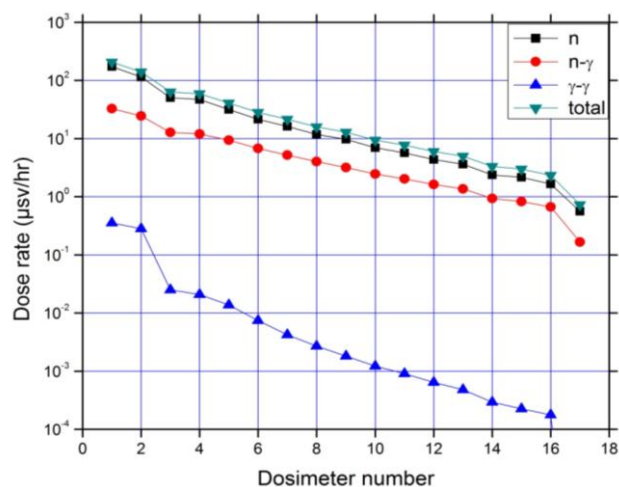
بحث و نتیجه گیری

در این مقاله به طراحی اتاق درمان BNCT براساس چشمه نوترونی D-T پرداخته شد. بدین منظور برای رسیدن به حد تعیین شده آهنگ دز معادل $1 \mu\text{sv/hr}$ ، ضخامت حفاظ اصلی ۹۰ سانتیمتر و حفاظ فرعی ۶۰ سانتیمتر بتن معمولی انتخاب گردید. با چشمه بدون واگرایی، ضخامت ۱۷۰ سانتیمتر بتن برای حفاظ اصلی لازم است که این ضخامت را می توان فقط در مقابل چشمه در نظر گرفت و یا به جهت یکنواخت سازی حفاظ، می توان از ترکیب ۴۰ سانتیمتر پلی اتیلن بوردار و ۲۰ سانتیمتر سرب در حفاظ استفاده کرد. به منظور بررسی موقعیت بیمار، پنجره اتاق از جنس شیشه ساده با ضخامت ۶۰ سانتیمتر بصورت پلکانی در حفاظ فرعی انتخاب گردید. راهروی اتاق نیز بصورت پیچ در پیچ با طول ۹/۸۵ متر و درب ورودی با ضخامت ۲ سانتی متر از جنس سرب، می تواند مقدار آهنگ دز را به کمتر از حد مجاز در بیرون از اتاق برساند.

مرجع ها

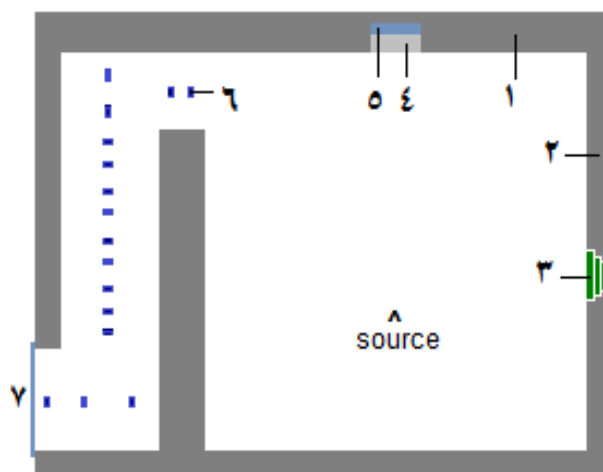
- [۱]. Yamamoto, T., Nakai, K., Matsumura, A., "Boron Neutron Capture Therapy for glioblastoma". *Cancer Lett*, **262**, (143-152), 2008.
- [۲]. Yasui, L., et al., "Boron neutron capture in prostate cancer cells" *Appl. Radiat. Isotopes*, **70**, (6-12), 2012.
- [۳]. A.E. Hawk, T.E. Blue, J.E. Woollard, "A shielding design for an accelerator-based neutron source for boron neutron capture therapy", *Appl. Radiat. Isot.*, **61**, (1027-1031), 2004.
- [۴]. A.Y. Chen, Y.W.H. Liu, R.J. Sheu, "Radiation shielding evaluation of the BNCT treatment room at THOR: A TORT-coupled MCNP Monte Carlo simulation study", *Appl. Radiat. Isot.*, **66**, (28-38), 2008.
- [۵]. J.F. Briesmeister. "MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4c" -13709-M, Los Alamos National Laboratory, 2000.
- [۶]. Fatemeh, S. Rasouli, S. Farhad Masoudi, Yaser Kasesaz, "Design of a model for BSA to meet free beam parameters for BNCT based on multiplier system for D-T neutron source", *Annals of Nuclear Energy*, **39**, (18-25), 2012.
- [۷]. *Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X and Gamma Ray Radiotherapy*. NCRP Report, No **151**, Issued December 31, 2005.

ماده استفاده شده در شبیه سازی پنجره، شیشه ساده با چگالی $2/68 \text{ g cm}^{-3}$ و شیشه سربی با چگالی $3/6 \text{ g cm}^{-3}$ در نظر گرفته شده است. با این وجود، شکل ۵ کاهش آهنگ دز در امتداد پنجره از جنس شیشه ساده را نشان می دهد که مقدار آن در پشت پنجره کمتر از $0/2 \mu\text{sv/hr}$ است. در محاسبات راهرو، از دزیترهایی با ابعاد $10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 150 \text{ cm}$ در امتداد راهرو (شکل ۷) استفاده شده است. شکل ۶ آهنگ دز معادل از ابتدا تا انتهای پیچ دوم راهرو و پشت درب ورودی را نشان می دهد.



شکل ۶. آهنگ دز معادل در امتداد راهرو و پشت درب ورودی با ضخامت ۲cm سرب

با توجه به اینکه مقدار آهنگ دز معادل کل، قبل از درب ورودی (دزیتر شماره ۱۶- شکل ۶) به حد تعیین شده نزدیک است،



شکل ۷. طرح کلی اتاق درمان با راهروی پیچ در پیچ.
(۱) حفاظ اصلی، (۲) حفاظ فرعی، (۳) پنجره، (۴) پلی اتیلن بوردار، (۵) سرب، (۶) دزیتر، (۷) درب ورودی