

امکان سنجی استفاده از اتاق درمان موجود در بیمارستان امام خمینی (ره) به منظور

راه اندازی مرکز BNCT بر مبنای شتاب دهنده الکترون ۲۰ MeV

معصومه سلیمانی نیا- فائزه رحمانی

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پروتوها

چکیده

در این مقاله به اصلاح اتاق درمان بیمارستان امام خمینی (ره) با ابعاد داخلی 8×9 متر مربع، به منظور راه‌اندازی مرکز BNCT با شتاب دهنده الکترون 20 MeV پرداخته شد. نتیجه محاسبات با کد MCNP با قرار دادن تجهیزات BNCT در مرکز اتاق جهت ارزیابی ضخامت دیوارهای اصلی و فرعی برای کاهش آهنگ دز نوترون و فوتون، نشان داد که دیوارهای موجود نیازی به تغییر ندارند، اما آهنگ دز در انتهای راهروی دو پیچه، بیش از حد دز تعیین شده ($1 \mu\text{Sv/hr}$) بود. بررسی روش‌های متعدد نشان دادند که افزودن لایه‌هایی از آهن و پلی اتیلن به قسمت بیرونی درب سربی باعث کاهش آهنگ دز بیرون اتاق درمان به کمتر از حد تعیین شده می‌شود.

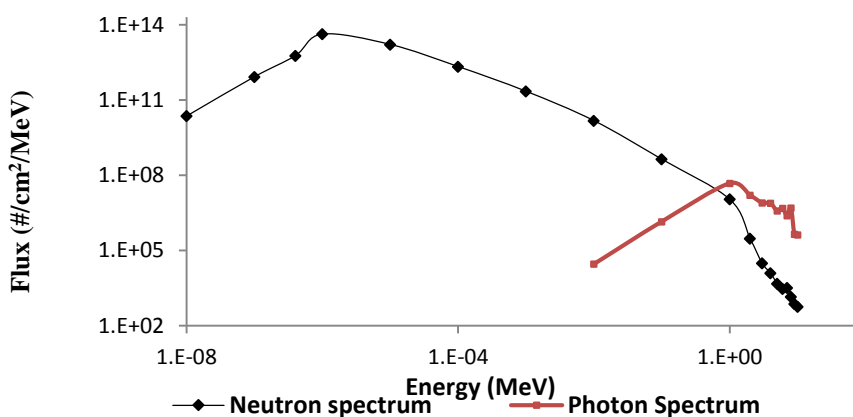
کلمات کلیدی: اتاق درمان، BNCT، حفاظ نوترون، حفاظ فوتون، آهنگ دز تعیین شده، راهروی پیچ در پیچ.

مقدمه

درمان با گیراندازی نوترون توسط بور (Boron Neutron Capture Therapy, BNCT) یکی از روش‌هایی است که به واسطه آن برخی تومورهای مغزی قابل درمان هستند [۱-۳]. یک مجموعه نوترون درمانی BNCT شامل: (۱) چشمه نوترونی و (۲) یک مجموعه شکل‌دهنده طیف نوترون (BSA)^۱ برای رساندن انرژی نوترون‌ها به محدوده انرژی مورد نظر شامل کندکننده نوترون، بازتابنده، حفاظ گاما و نوترون و (۳) اتاق درمان به منظور فراهم کردن تجهیزات و شرایط درمان در محیطی ایمن و نیز کاهش آهنگ دز افراد بیرون مجموعه به کمتر از آهنگ دز تعیین شده است [۴-۶]. باریکه نوترونی این کار، فتونوترون‌های تولید شده در شتاب‌دهنده الکترون 20 MeV بود که در آن Fe , MgF_2 , CF_2 به عنوان کندکننده، سرب به عنوان بازتابنده و Ni به عنوان کولیماتور استفاده شد. طیف فوتونی و نوترونی (با در نظر گرفتن توزیع زاویه‌ای) در خروجی سیستم BNCT در کار قبل طراحی شده بود (شکل ۱) [۷]. هدف، کاهش آهنگ دز دریافتی بیرون از اتاق به کمتر از آهنگ دز تعیین شده

^۱ Beam Shaping Assembly

بود که مطابق با توصیه‌های ۱۰۱^۱ NCRP کمتر از $1\mu\text{Sv/hr}$ در نظر گرفته شد [۸]. در این مقاله، محاسبات حفاظ سازی جهت راه‌اندازی یک مرکز BNCT در بیمارستان امام خمینی (ره) مورد بررسی قرار گرفت. در بخش رادیوتراپی این بیمارستان یک شتاب‌دهنده خطی الکترون وجود دارد که بر اساس درمان مبتنی بر فوتون و الکترون، یک اتاق درمان برای آن ساخته شده است که می‌توان آن را به عنوان یک گزینه برای نصب تجهیزات BNCT مورد بررسی قرار داد.

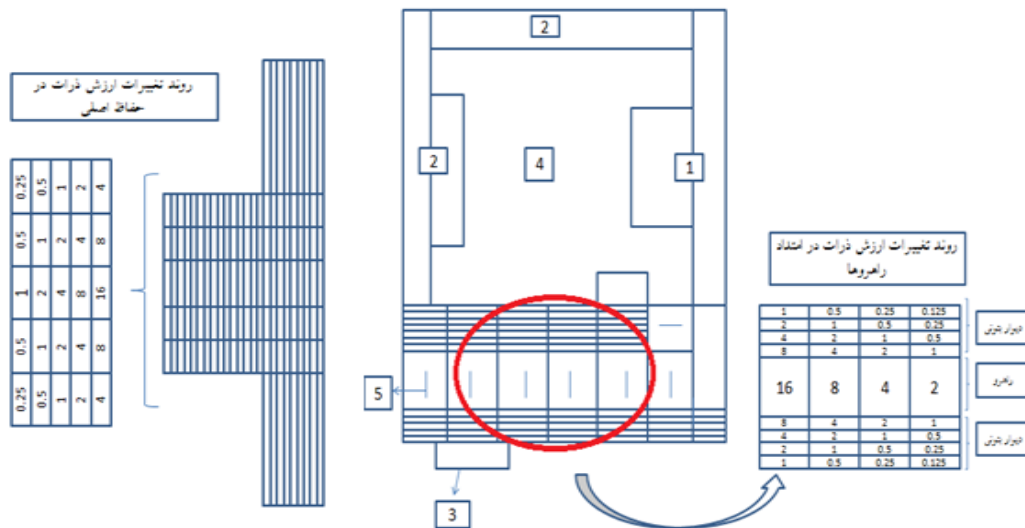


شکل ۱: طیف نوترون و فوتون در خروجی شتاب‌دهنده

روش کار

اتاق درمان بیمارستان امام خمینی (ره)، دارای ابعاد داخلی حدوداً 9×8 مترمربع است. کنترل وضعیت بیمار از بیرون اتاق با یک دوربین انجام می‌شود. ورودی اتاق یک راهروی دو پیچ‌ه با یک درب از جنس ۵۵ سانتی‌متر سرب به عنوان ورودی است. ضخامت دیوار اصلی اتاق در قسمت یکپارچه، $1/1$ متر است که در قسمت‌های برآمده‌ی مقابل چشمه به $2/5$ متر می‌رسد. ضخامت دیوارهای فرعی نیز به طور میانگین $1/2$ متر است. کف اتاق به ضخامت $1/5$ متر از بتون معمولی و سقف اتاق (با در نظر گرفتن 280 سانتی‌متر سقف کاذب) از 2 متر بتون پوشانیده شده است. شماتیک کامل اتاق درمان در شکل ۲ نشان داده شده است. محاسبات حفاظ سازی با استفاده از کد مونت‌کارلوی MCNP با روش‌های آنالوگ بسیار وقت‌گیر می‌باشد، لذا از روش‌های کاهش واریانس استفاده شد. شماتیکی از تقسیم‌بندی حفاظ اصلی به همراه چگونگی تغییرات ارزش ذرات بر اساس انرژی متوسط نوترون و فوتون در شکل ۲ دیده می‌شود.

^۱ National Council of Radiation Protection and Measurements, No. ۱۰۱

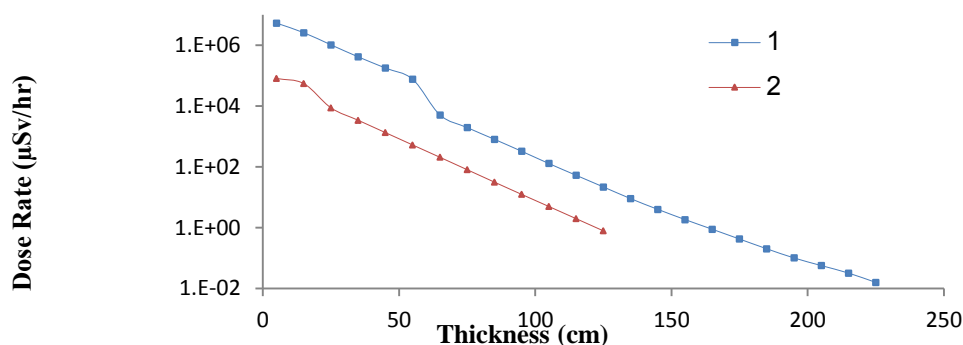


شکل ۲: شماتیکی از اتاق درمان موجود (۱ دیوار اصلی، ۲ دیوارهای فرعی، ۳ درب سربی، ۴ محل چشمه، ۵ دزیمترها محاسباتی مشابه نیز برای بررسی ضخامت دیوار فرعی انجام شد. کلیه محاسبات در بدترین حالت انجام شد. برای ارزیابی آهنگ دز رسیده ناشی از جویبارش پرتوها به بیرون اتاق درمان، تغییرات آهنگ دز در راهروی اتاق درمان با قرار دادن دزیمترهایی با ابعاد (۸۰×۲×۸۰ سانتی متر مکعب) در امتداد راهرو تا بیرون درب، به دست آمد. برای بررسی جویبارش ذرات در امتداد راهرو، ارزش ذرات رو به بیرون و در امتداد راهرو افزایش و در عمق دیوارهای راهرو کاهش داده شد که قسمتی از این تغییرات در شکل ۲ نشان داده شده است. به منظور بهینه‌سازی اتاق درمان، راهکارهای متعددی مورد بررسی قرار گرفت.

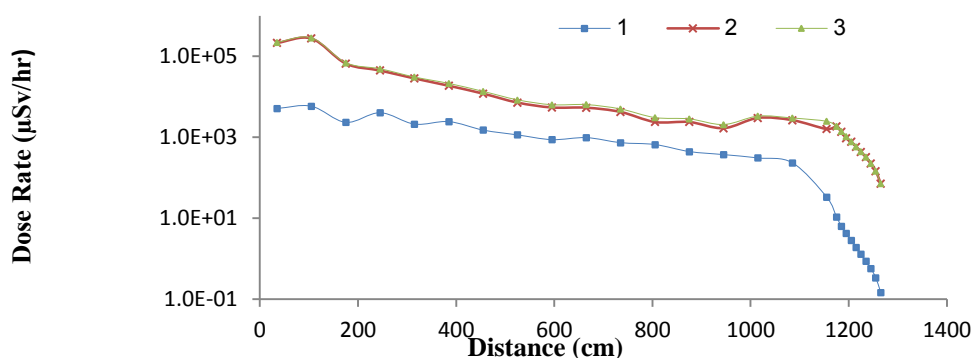
نتایج

نتایج محاسبات نشان دادند که با وجود تجهیزات BNCT، ضخامت حفاظ‌های اصلی و فرعی برای کاهش آهنگ دز کافی هستند و پشت این دیوارها آهنگ دز به کمتر از حد تعیین شده می‌رسد (شکل ۳). البته اثرات متقابل پس‌پراکندگی دیوارهای اصلی و فرعی نیز در محاسبات لحاظ شده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی طرح اولیه اتاق درمان، آهنگ دز در بیرون اتاق درمان و بدون هیچ تغییری در ساختار آن با توجه

به شکل



شکل ۳: کاهش آهنگ دز در ضخامت (۱) دیوار اصلی و (۲) دیوار فرعی



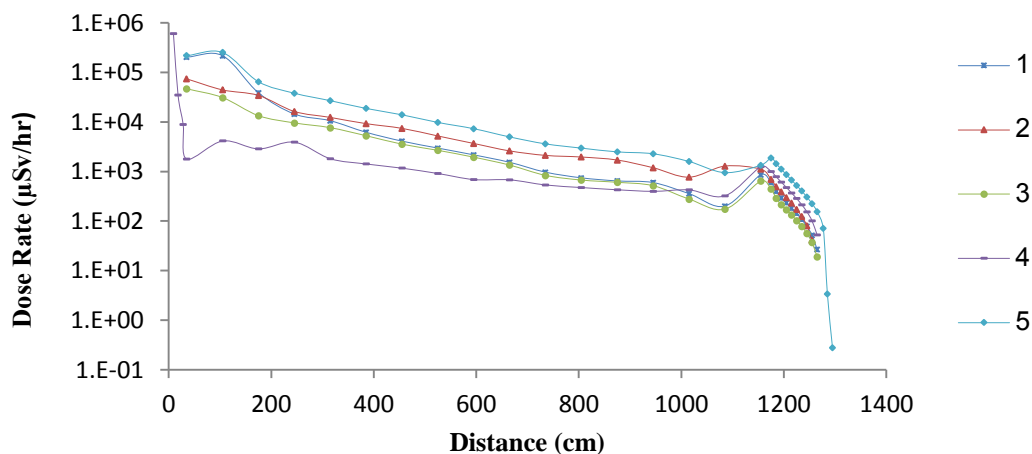
شکل ۴: کاهش آهنگ دز در امتداد راهرو تا بیرون اتاق (۱) آهنگ دز فوتون، (۲) آهنگ دز نوترون و (۳) آهنگ دز کل بدون تغییر

۴، در حدود $80 \mu\text{Sv/hr}$ است، لذا به منظور کاهش آهنگ دز بیرون اتاق درمان، تدابیر ذکر شده در قسمت قبل مورد بررسی قرار گرفت: (۱) قرار دادن تیغه پلی اتیلن به ضخامت‌های مختلف به عنوان حفاظ سایه برای جلوگیری از ورود مستقیم پرتو به بیرون اتاق، (۲) پوشانیدن دیوار راهرو با لایه‌هایی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پلی اتیلن بوردار شده، (۳) تلفیق دو روش (۱) و (۲) به طور هم‌زمان، (۴) قرار دادن درب در ابتدای پیچ اول حد فاصل اتاق و راهرو متشکل از ۷cm آهن، ۱۰cm پلی اتیلن و ۷cm آهن. نتایج در موارد فوق نشان دادند که آهنگ دز هم‌چنان بیش از مقدار تعیین شده است. لذا از ۲۴cm ماده شامل ۷cm آهن (برای کاهش انرژی نوترون‌ها طی اندرکنش‌های پراکندگی غیرالاستیک) و ۱۰cm پلی اتیلن (برای کندسازی و جذب نوترون‌ها) و

در

جدول ۱: نتایج به دست آمده از بهینه سازی و اصلاح بیمارستان امام خمینی (ره)

موارد بررسی شده	آهنگ دز بیرون اتاق
طرح اولیه اتاق درمان بیمارستان امام خمینی (ره) بدون اصلاحات	۷۶ $\mu\text{Sv/hr}$
قرار دادن تیغه پلی اتیلن ۱۰cm در مقابل باریکه	۴۱ $\mu\text{Sv/hr}$
قرار دادن تیغه پلی اتیلن ۲۰cm در مقابل باریکه	۳۹,۲ $\mu\text{Sv/hr}$
پوشانیدن راهروها با پلی اتیلن بوردار شده	۲۶,۶ $\mu\text{Sv/hr}$
پوشانیدن راهروها با پلی اتیلن بوردار شده و قرار دادن تیغه پلی اتیلن در مقابل باریکه	۱۹,۰۵۷ $\mu\text{Sv/hr}$
قرار دادن درب از جنس آهن و پلی اتیلن در پیچ اول	۵۲,۰۷۲۵ $\mu\text{Sv/hr}$
افزودن لایه‌های آهن و پلی اتیلن به بخش بیرونی درب سربی	۰,۲۷ $\mu\text{Sv/hr}$



شکل ۵: مقایسه کاهش آهنگ دز در امتداد راهروها و بیرون درب، (۱) با پوشانیدن راهروها از BPE، (۲) قرار دادن تیغه پلی اتیلن در پیچ ورودی، (۳) حالت (۱) و (۲) همزمان، (۴) قرار دادن درب در ابتدای پیچ ورودی حد فاصل اتاق و راهرو، (۵) اصلاح درب با افزودن لایه‌هایی از آهن، پلی اتیلن و آهن به قسمت بیرونی درب سربی

نهایت ۷ cm آهن (برای حفاظ سازی گاماهاى ناشی از گیراندازی نوترون) در قسمت بیرونی درب اصلی استفاده شد که آهنگ دز را به کمتر از حد تعیین شده کاهش داد. بنابراین اصلاح درب ورودی اتاق درمان

می‌تواند روشی ساده و مطمئن برای استفاده از اتاق درمان فعلی به منظور راه‌اندازی یک مرکز BNCT محسوب گردد. جدول ۱ نتیجه‌ای از کل روش‌های اعمالی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

مطالعه امکان‌سنجی استفاده از اتاق درمان بیمارستان امام خمینی (ره) به منظور راه‌اندازی یک مرکز BNCT با چشمه نوترون و فوتون در خروجی BSA، تغییری در ضخامت دیوار اصلی برای کاهش آهنگ دز به زیر حد دز تعیین شده را نشان نداد، ولی آهنگ دز بیرون اتاق درمان از مسیر راهروها بیشتر از حد تعیین شده بود که مناسب‌ترین راه حل برای کاهش اثر جویبارش ذرات در راهرو با در نظر گرفتن ملاحظات ایمنی، فیزیک بهداشت و نیز ملاحظات اقتصادی، افزودن لایه‌هایی از آهن و پلی اتیلن به قسمت بیرونی درب بود.

مراجع

1. T. Yamamoto, A. Matsumura, K. Yamamoto, H. Kumada, Y. Shibata, T. Nose, In Phantom Two-Dimensional Thermal Neutron Distribution for Intraoperative Boron Neutron Capture Therapy of Brain Tumors, Phys. Med. Biol. ۱۴, ۴۷۲, ۳۸۷-۳۹۶, ۲۰۰۲.
2. B. Montagnini, N. Cerullo, J. Esposito, V. Giusti, F. Mattioda, R. Varone, Spectrum Shaping of Accelerator- Based Neutron Beams for BNCT, Nucl. Instrum. Meth. in Phys. Res. A. (۱-۲), ۴۷۶, ۹۰-۹۸, ۲۰۰۲.
3. E. Bisceglie, P. Colangelo, N. Colonna, P. Santorelli, V. Variale, On the Optimal Energy of Epithermal Neutron Beams for BNCT, Phys. Med. Biol., ۱, ۴۵, ۴۹-۵۸, ۲۰۰۰.
4. Current Status of Neutron Capture Therapy, IAEA-TECHDOC-۱۲۲۳, May ۲۰۰۱.
5. L. Auditore, R. C. Barna, D. De Pasquale, A. Italiano, A. Trifiro, M. Trimarchi, Study of a ۰MeV electron Linac Based Neutron Source, Nucl. Instrum. Meth. in Phys. Res. B. ۱, ۲۲۹, ۱۳۷-۱۴۳, ۲۰۰۵.
6. K. M. Eshwarappa. Ganesh, K. Siddappa, Yogesh Kashyap, Amar Sinha, P. S. Sarkar, B. K. Godwal, Estimation of Photoneutron Yield from Beryllium Target Irradiated by Variable Energy Microtron-Based Bremsstrahlung Radiation, Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. A. (۲-۳), ۵۴۰, ۴۱۲-۴۱۸, ۲۰۰۵.
7. F. Rahmani, M. Shahriari, Beam shaping assembly optimization of Linac-Based BNCT and in-phantom depth dose distribution analysis of brain tumors for verification of a beam model, Annals of Nuclear Energy, ۳۸, ۴۰۴-۴۰۹, ۲۰۱۱.
8. Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X-and Gamma Ray. December ۳۱, ۲۰۰۵.