

## طراحی و شبیه سازی سیستم آرام کننده نوترون شامل فیلتر فوتونی و حرارتی برای

### BNCT

روح اله قیصری<sup>۱</sup>، حبیب محمدی<sup>۲</sup>، محمد مهدی فیروزآبادی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه خلیج فارس بوشهر، گروه فیزیک

<sup>۲</sup> دانشگاه بیرجند، گروه فیزیک

### چکیده

در این مقاله، یک سیستم نوترونی برای BNCT پیشنهاد شده است. سیستم مورد نظر شامل چشمه  $^{252}\text{Cf}$ ، مجموعه ای از کند کننده و بازتابنده نوترون، فیلترها و حفاظ بتونی می باشد. اندازه و تجهیزات این مجموعه برای تولید بیشینه شار نوترون (فوق حرارتی)، بهینه شده است. کد محاسباتی MCNPX ۲.۴ برای شبیه سازی سیستم و محاسبه مؤلفه های نوترون در خروجی سیستم، استفاده شده است. توزیع شار نوترون و اشعه گاما، در امتداد محور مرکزی گذرنده از سر دستگاه و فانتوم سر انسان، نیز بدست آمده است.

**کلید واژه:** چشمه  $^{252}\text{Cf}$ ، شبیه سازی، کند کننده، فانتوم، فیلتر، نوترون فوق حرارتی

### مقدمه

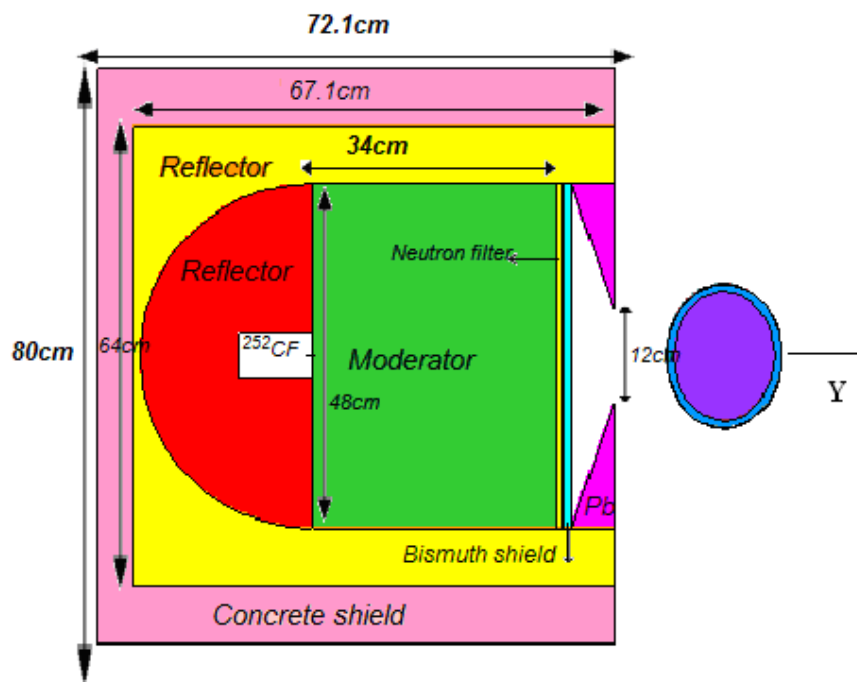
برای درمان موفقیت آمیز بیماران از طریق BNCT، شار بالای نوترون مورد نیاز است. بر این اساس، قبل از انتخاب تجهیزات جانبی و بهینه نمودن سیستم آرام کننده نوترون، انتخاب چشمه نوترون یعنی راکتور هسته ای، شتابدهنده یا چشمه های کپسولی نوترون، دارای اهمیت ویژه ای می باشد [۱]. برای کشورهای در حال توسعه، چشمه  $^{252}\text{Cf}$  با نیم عمر حدود ۲,۶۴ سال یکی از بهترین چشمه های رادیو اکتیو می باشد؛ که به عنوان یک چشمه قابل حمل، در تحقیقات صنعتی و پزشکی مورد استفاده قرار گرفته است. یک میلی گرم کالیفرنیم ۲۵۲، حدود  $2.3 \times 10^9$  نوترون در ثانیه گسیل می نماید [۲].

نوترون های شکافت به طور مستقیم نمی توانند برای BNCT به کار روند. برای قابلیت دسترسی یک بیم نوترونی مناسب، لازم است با کاهش انرژی، نوترون های چشمه تا اندازه قابل توجهی به محدوده کمتر از حدود ۱۰ KeV کند شوند [۳]. در این تحقیق، سیستمی دربرگیرنده کالیفرنیم به منظور تولید یک بیم نوترون فوق حرارتی ( $0.5\text{eV} < E < 10\text{keV}$ ) شبیه سازی می شود. تلاش بر این است تعداد نوترون های حرارتی، سریع و شدت خروجی گاما نسبت به سایر سیستم های مشابه که تا به حال طراحی شده اند کمینه

شود. سیستم شامل کند کننده و بازتابنده نوترون، فیلترهای نوترونی و گاما می باشد. به دلیل برخی از مسایل ایمنی، یک حفاظ بتونی می بایست سیستم را احاطه نماید. به منظور ارزیابی ساختار مواد و هندسه مسئله، محاسبات انتقال نوترون و پرتوی گاما با استفاده از کد محاسباتی MCNPX ۲.۴ انجام شده است.

## روش کار

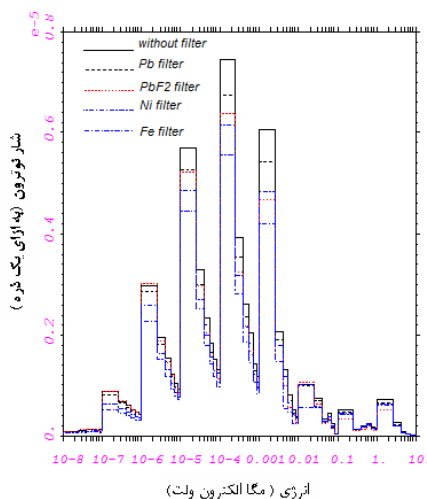
برای بدست آوردن یک بیم نوترون جهت بهینه سازی درمان تومورهای عمیق به روش BNCT، با پیشنهاد نمودن یک سیستم آرام کننده نوترونی، طیف نوترون فوق حرارتی در محدوده  $0.5\text{eV} < E < 10\text{keV}$  شبیه سازی و شار این نوترون ها محاسبه می شود. سیستم آرام کننده شامل کند کننده، بازتابنده، فیلترهای مختلف نوترونی و گاما و یک حفاظی از بتون می باشد. چشمه کالیفرنیوم در درون آن و فانتوم بیضوی سر انسان روبروی دریچه خروجی دستگاه جاسازی می شوند. هندسه شبیه سازی شده سیستم، در شکل ۱ نشان داده شده است.



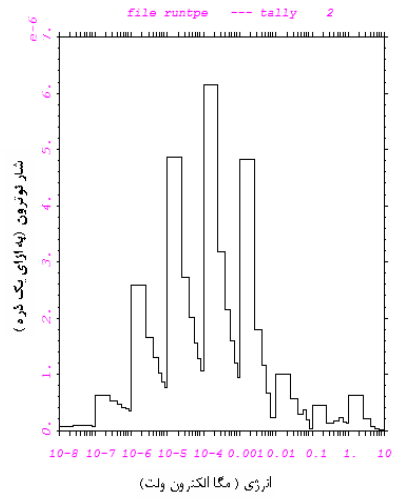
شکل ۱: هندسه شبیه سازی سیستم پیشنهادی (آرام کننده نوترونی).

ساختار هندسی (اصلی) این سیستم، استوانه ای است.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  به عنوان بازتابنده در داخل کره ای به شعاع ۲۴ سانتیمتر، چشمه کالیفرنیوم را محاط کرده است و یک استوانه کند کننده به ضخامت ۳۴ cm؛ که

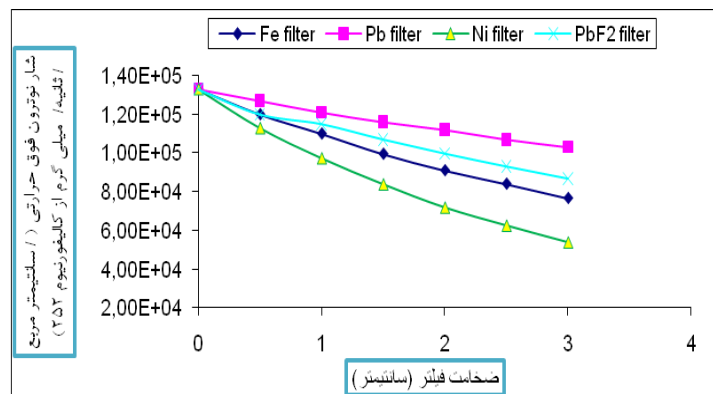
شامل  $TiF_2$  می باشد در امتداد محور واقع شده است. برای انعکاس نوترون ها به پشت کند کننده، از بازتابنده دیگری با همان جنس ( $Al_2O_3$ ) استفاده شده است. برای گیراندازی نوترون های سریع، فیلترهای مختلف  $PbF_2$  و  $Ni$ ،  $Pb$ ،  $Fe$  با ضخامت های معین حدود ۱ cm مورد مطالعه و شبیه سازی قرار گرفته اند. از فیلتر  $Li$  به ضخامت ۱ mm به عنوان فیلتر نوترون حرارتی و از ماده  $Bi$  به ضخامت ۱ cm برای کمینه نمودن شدت اشعه گاما استفاده شده است. ضمن اینکه  $Bi$  حفاظ بسیار مناسبی برای اشعه گاما است؛ نوترون های فوق حرارتی را با ضریب انتقال بسیار بالایی از خود عبور می دهد [۲]. فانتوم بیضوی سر انسان (به قطر بزرگ ۱۸ و کوچک ۱۴ سانتیمتر) جلوی پنجره خروجی سیستم قرار دارد؛ که شامل ۳ بخش پوست سر به ضخامت ۵ mm، جمجمه و مغز می باشد. ترکیبات عناصر برای مغز، پوست سر و جمجمه از ۴۶ ICRU اتخاذ شده است [۴]. در شکل های ۲ و ۳، شار نوترون (بر حسب انرژی) برای ناحیه های سریع، فوق حرارتی و حرارتی نشان داده شده اند. شار نوترون فوق حرارتی در خروجی سیستم برای ضخامت های مختلفی از فیلترهای متفاوت در شکل ۴ نشان داده شده است. توزیع شار نوترون های فوق حرارتی، سریع و حرارتی و اشعه گاما در فانتوم سر انسان در امتداد محور پرتو در جهت Y در شکل ۵ نشان داده شده است. در شکل ۶، توزیع شار حرارتی و اشعه گاما ناشی از  $^{10}B$  با غلظت ۴۰ ppm در مغز، با فانتوم بدون بور مقایسه شده است.



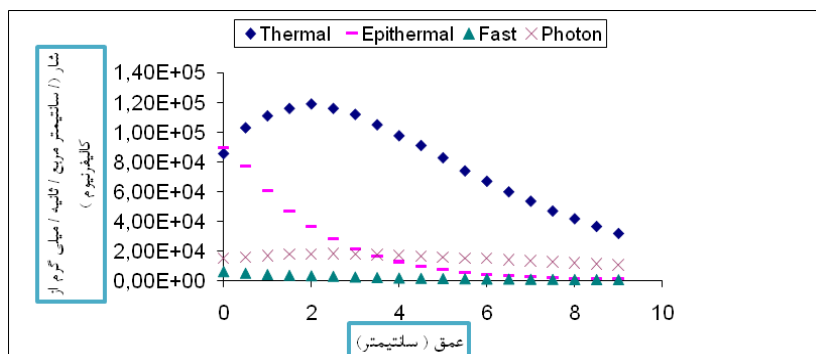
شکل ۲: شار بر حسب انرژی نوترون در خروجی سیستم برای فیلترهای مختلف.



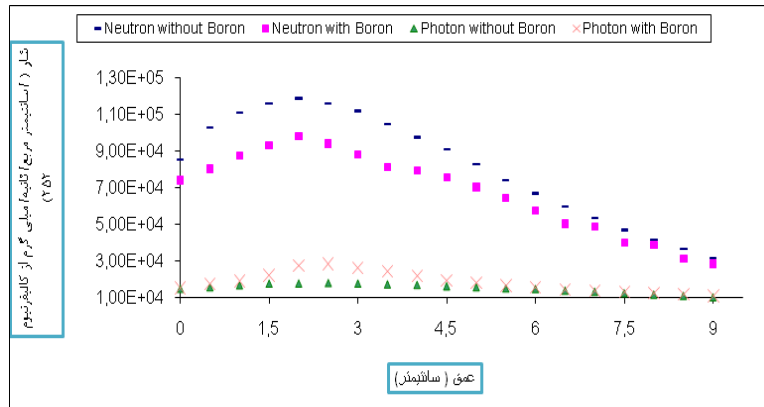
شکل ۳: شار خروجی سیستم بهینه برحسب انرژی نوترون.



شکل ۴: شار نوترون فوق حرارتی بر حسب ضخامت فیلتر.



شکل ۵: توزیع شار حرارتی، فوق حرارتی، سرد و اشعه گاما در فانتوم سر انسان بر حسب مکان.



شکل ۶: توزیع شار حرارتی و اشعه گاما در دو وضعیت حضور و عدم حضور  $^{10}\text{B}$  در فانتوم سر انسان بر حسب مکان.

## نتیجه گیری

در این کار، برای تولید پرتویی از نوترون فوق حرارتی یک سیستم آرام کننده نوترونی با استفاده از کد شبیه سازی  $\text{MCNPPX}$  ۲،۴ طراحی شده است. مؤلفه های مختلفی از نوترون و اشعه گاما در خروجی سیستم و درون فانتومی از سر انسان محاسبه شده است. مجموعه ای از کند کننده، بازتابنده و فیلترهای نوترونی و گاما برای هدایت و کاهش انرژی نوترون ها به محدوده نوترون های فوق حرارتی بهینه شده است. چندین فیلتر برای کاهش شدت نوترون های سریع، مورد شبیه سازی و آزمایش قرار گرفتند. در شکل های ۲ و ۳، شار نوترون های سریع و حرارتی پایین هستند و از طرفی، شار نوترون فوق حرارتی بالا می باشد. شکل ۴ نشان می دهد بیشترین شار نوترون فوق حرارتی مربوط به فیلتر  $\text{Pb}$  می باشد. در شکل ۵، شار نوترون فوق حرارتی بیشترین مقدار را در ورودی (روی سطح) فانتوم دارد و با افزایش عمق کاهش پیدا می کند؛ در حالی که شار نوترون حرارتی کمترین مقدار را در ورودی دارد؛ اما با افزایش عمق به حد بیشینه می رسد و سپس کاهش می یابد. علت افزایش شار نوترون در نواحی مرکزی فانتوم، به علت کند شدن نوترون های فوق حرارتی می باشد. شار نوترون های سریع و اشعه گاما نیز پایین هستند. شکل ۶ نشان می دهد حضور بور ( $^{10}\text{B}$ ) در بافت مغز، توزیع نوترون ها و انتقال ذرات نوترون را به طور قابل ملاحظه ای تغییر می دهد؛ بطوریکه باعث پراکندگی بیشتر شار نوترون حرارتی می شود. در مقایسه با سیستم های پیشنهادی اخیر [۲]، طیف نوترون در خروجی سیستم حاضر، دارای مؤلفه فوق حرارتی بسیار بهتر می باشد.



## منابع

- [۱] J. Ghassoun, A. Merzouki, A. El Morabiti and A. Jehouani, “On the  $^{252}\text{Cf}$  primary and secondary gamma rays and epithermal neutron flux for BNCT”, Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B ۲۶۳(۲۰۰۷) ۲۳۱-۲۳۳.
- [۲] J. Ghassoun, B. Chkillou and A. Jehouani, “Spatial and spectral characteristics of a compact system neutron beam designed for BNCT facility”, Appl. Radiat. Isot. ۶۷(۲۰۰۹) ۵۶۰-۵۶۴.
- [۳] F. El. Moussaoui, T. El. Bardouni, M. Azahra, A. Kamili, H. Boukhal “ Monte Carlo calculation for the development of a BNCT neutron source ( $^{252}\text{Cf}$  - 10 KeV) using MCNP code”, Can. Rad. Therap. ۱۲ (۲۰۰۸) ۳۶۰-۳۶۴.
- [۴] J. Kenneth Shultis and Richard E. Faw, “Radiation Shielding”, Department of Nuclear engineering Kansas State University Manhattan, Prentice Hall PTR, (۱۹۹۶) ۱۴۵.