

## طراحی سیستم بهینه به منظور استفاده از چشمه نوترونی $Li(p,n)Be$ برای BNCT

شایسته، محسن - طاهری، محمد\* - عسکری، منصور - زکی، حسین

دانشگاه جامع امام حسین(ع)، دانشکده علوم پایه، گروه و مرکز تحقیقات فیزیک

### چکیده:

درمان با جذب نوترون توسط بور (BNCT)<sup>۱</sup> یک روش برای درمان تومور می‌باشد. در این روش، تابش نوترون به محل تومور گسیل یافته و با جذب آن در بور وارد شده به سلول‌های سرطانی باعث تخریب بافت‌های سرطانی می‌گردد. در این تحقیق برای تولید نوترون، از واکنش  $Li(p,n)Be$  در شتابدهنده پروتون استفاده شده و نوترون‌های تولید شده از طریق عبور دادن از میان لایه‌هایی متشکل از پلی تترافلوئورو اتیلن (PTFE)<sup>۲</sup> و اکسید آلومینیم با ضخامت‌های مناسب، کند شده و به محدوده انرژی مورد نظر (فوق حرارتی) رسیده‌اند. سپس برای سیستم حاصل با استفاده از مواد مختلف، حفاظ طراحی شده‌است و مواد بهینه که شامل سرب و یک نوع بتون با ترکیبات خاص است، انتخاب شده‌اند.

کلمات کلیدی: نوترون تراپی، طراحی حفاظ، شبیه سازی، درمان تومور، MCNP, BNCT

### مقدمه :

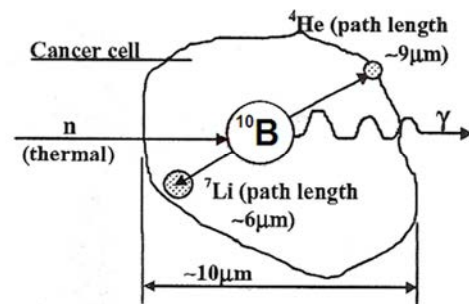
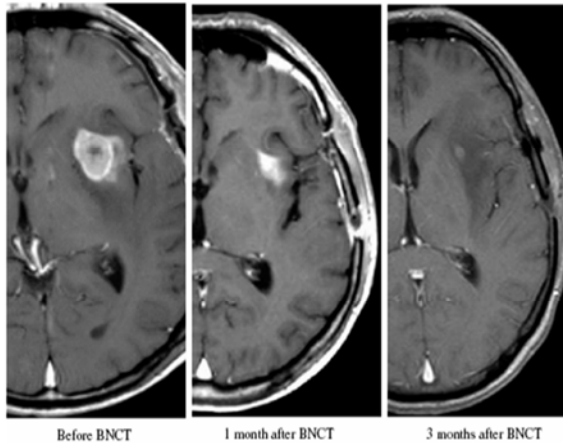
حدود سه سال پس از کشف نوترون، واکنش  $^{10}B(n,\alpha)^7Li$  توسط تیلور و همکارانش در سال ۱۹۳۵ تشریح شد. سطح مقطع این واکنش برای نوترون‌های گرمایی زیاد است (۳۸۳۷ بارن) و همانگونه که در رابطه (۱) نشان داده شده است با احتمال ۶/۳ درصد انرژی ذرات  $\alpha$  و  $Li$  به ترتیب  $1/78 MeV$  و  $1/01 MeV$  است و برد آنها در آب به ترتیب برابر  $8/9$  و  $4/5$  میکرومتر است.

در سال ۱۹۳۶ امکان استفاده از این واکنش برای نابودی سلول‌های سرطانی توسط لاجر پیشنهاد شد. اولین آزمون‌های درمانی موفق آن توسط پروفیسور هاتاناکا<sup>۳</sup> در سال ۱۹۶۸ گزارش گردید. در این روش ابتدا داروی حامل بور -۱۰ به بیمار تزریق می‌گردد، که قابلیت جذب بالایی در تومور دارد. سپس ناحیه تومور توسط نوترون‌های با انرژی و شدت مناسب بمباران می‌شود. میزان انرژی نوترون برای درمان به غلظت بور در خون و تومور و همچنین به موقعیت تومور در مغز بستگی دارد [۱]. شکل (۱) واکنش‌های مورد نظر را در تومور نشان می‌دهد. نمونه‌ای از تصویر تومور در سر بیمار قبل و بعد از عمل هم در شکل (۲) آورده شده است.

<sup>1</sup> Boron neutron capture therapy

<sup>2</sup> Polytetrafluoroethylene

<sup>3</sup> H.Hatanaka



شکل (۲): تصویر تومور در سر بیمار قبل و بعد از عمل [۳]

شکل (۱): واکنش بور در سلول سرطانی [۲]

برای انجام موفقیت آمیز این روش ابتدا به یک چشمه نوترون مناسب احتیاج داریم که نوترون‌های مورد نیاز را تامین کند. مشخصات قابل توجه شامل نوع باریکه، انرژی و شدت نوترون بوده که در انتخاب چشمه بسیار مهم است. در اکثر مراکز که از این روش برای درمان استفاده می‌کنند، راکتور به عنوان چشمه نوترونی در نظر گرفته می‌شود که دارای شار نوترونی بالا با طیف انرژی گسترده است. پرهزینه بودن ساخت یک مرکز BNCT با استفاده از راکتور باعث شد که محققان به دنبال چشمه‌های دیگر مانند شتابدهنده‌ها به طور غیر مستقیم و چشمه‌های نوترون به طور مستقیم بروند که هر کدام مزیت‌ها و معایب خود را دارند. ساخت یک شتابدهنده با توجه به هزینه کمتر آن به منظور استفاده در BNCT یا ساخت یک مجموعه درمانی در کنار مراکز شتابدهنده معقول‌تر به نظر می‌آید به همین دلیل در این مقاله از شتابدهنده سیکلوترون کرج برای ایجاد باریکه مناسب نوترون استفاده شده است [۲].

### روش کار :

در این کار شتابدهنده کرج به عنوان یک چشمه پروتون انتخاب شده است که باریکه حاصل از آن در اثر تاباندن به هدف لیتیومی،  $Li(p,n)Be$  نوترون‌های مورد نیاز را برای نوترون تراپی تولید می‌کند. برای شبیه سازی چشمه از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط عباسی و همکاران [۴] استفاده گردید. شار نسبی نوترون تولیدی چشمه در شکل (۳) قابل مشاهده است.



شکل (۳): نمودار طیف انرژی نوترون تولید شده از برخورد پروتون (۱۷ MeV) با هدف لیتیومی.

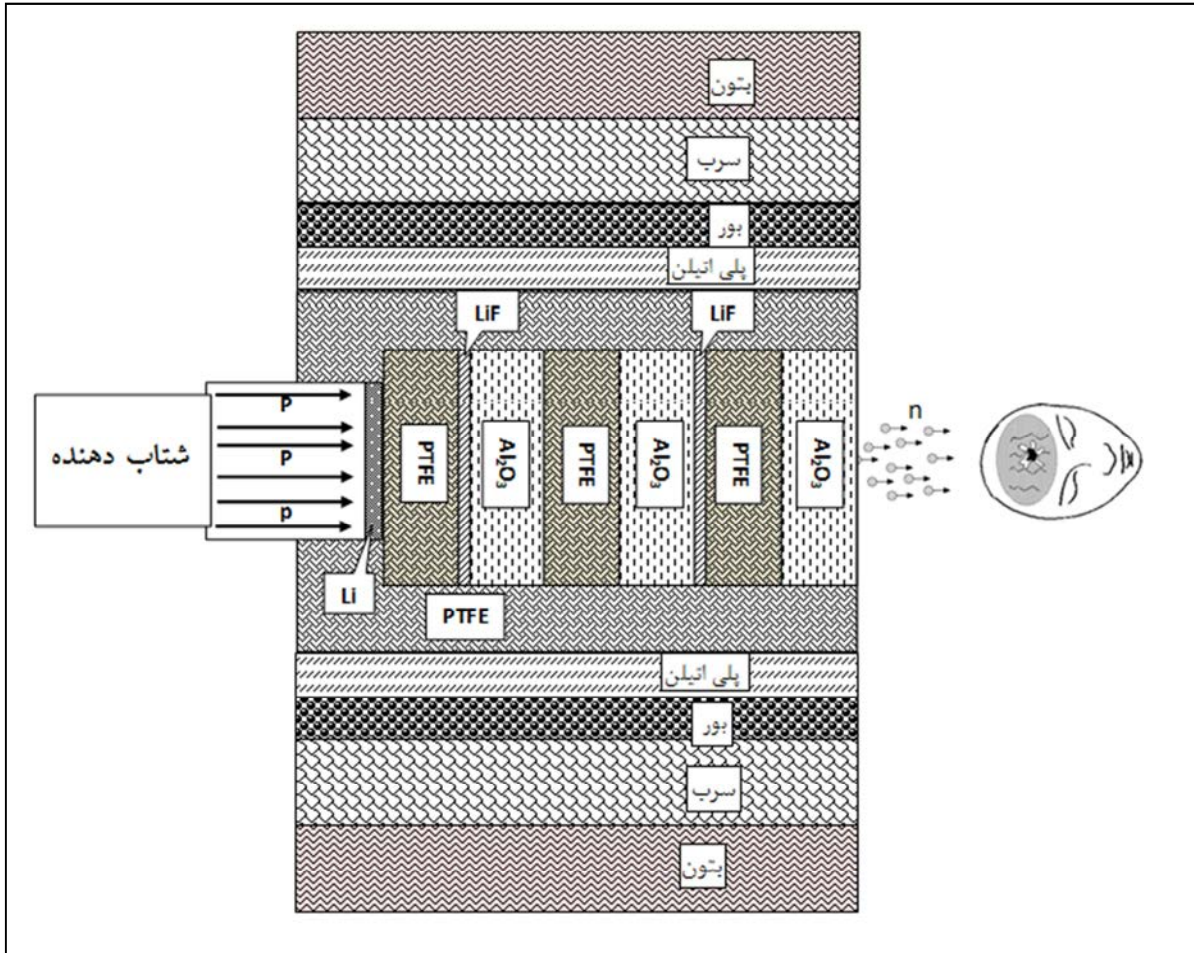
همانطور که مشاهده می‌شود شار نوترون در انرژی‌های بالا بسیار زیاد است در صورتی که انرژی نوترون مناسب برای BNCT در بازه فوق حرارتی می‌باشد. بازه انرژی مشخص شده برای نوترون‌های فوق حرارتی تا حدودی متفاوت بوده و در این مقاله، بازه بین ۰/۵ eV تا ۴۰ keV [۵] مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین با استفاده از کندکننده‌ها انرژی نوترون‌ها می‌بایست کاهش یابد. برای این منظور از کندکننده‌های مختلفی در شبیه سازی استفاده شد که در نهایت ماده PTFE [۶] (پلی تترا فلورو اتیلن) با چگالی  $2/2 \text{ gr/cm}^3$  و اکسید آلومینیم با چگالی  $3/95 \text{ gr/cm}^3$  و لایه نازک فلوراید لیتیم (LiF) انتخاب شدند. برای بازتاباندن نوترون‌ها از یک لایه استوانه‌ای PTFE به دور سیستم استفاده شده است.

برای حفاظ سازی مواد مختلف با ضخامت‌های مختلف بررسی شدند و پس از انتخاب مواد چیدمان‌های مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفتند که در نهایت چیدمان زیر انتخاب شد.

برای حفاظ نوترون باید ابتدا انرژی نوترون‌ها کاهش یابد. برای این منظور از یک لایه پلی اتیلن به ضخامت ۱۰ سانتی متر استفاده شده است. سپس یک لایه ۱۰ سانتی متری از بور برای جذب نوترون‌ها به کار رفته است. برای حفاظ پرتو گاما، یک لایه ۲۵ سانتی متری از سرب و در نهایت برای تکمیل حفاظ سازی یک لایه ۲۵ سانتی متری بتونی به دور سیستم قرار داده شد. ۹ نمونه بتون با ترکیبات مختلف در کد شبیه سازی شد و بهترین ترکیب از لحاظ شار نوترون و گامای خروجی انتخاب شد [۷].

نحوه قرار گرفتن کندکننده‌ها (لایه‌های PTFE به ضخامت ۷ سانتی متر و اکسید آلومینیم به ضخامت ۶ سانتی متر و لیتیوم فلوراید به ضخامت ۱ سانتی متر) و بازتابنده و حفاظ که همگی استوانه‌های هم مرکز هستند در شکل (۴) آورده شده است. پس از اجرای شبیه سازی شار نوترونی در خارج از حفاظ و فاصله

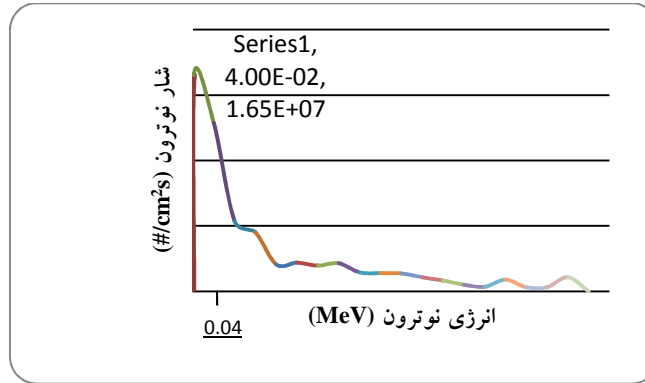
نیم متری حفاظ با استفاده از ضرایب تبدیل شار به معادل دز، معادل دز کل محاسبه شد و با استاندارد دز [۸] مقایسه شد که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است.



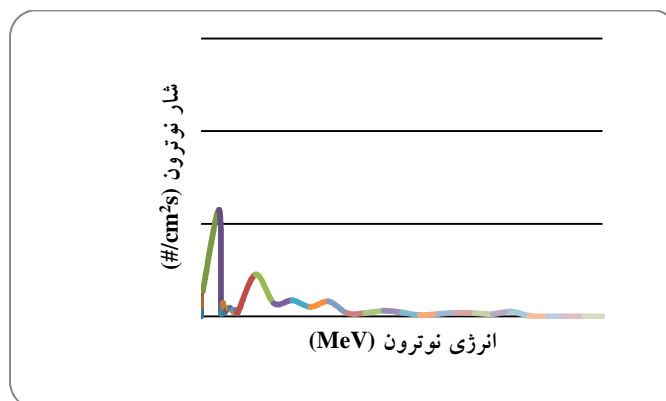
شکل (۴): چیدمان حفاظ طراحی شده

### نتایج :

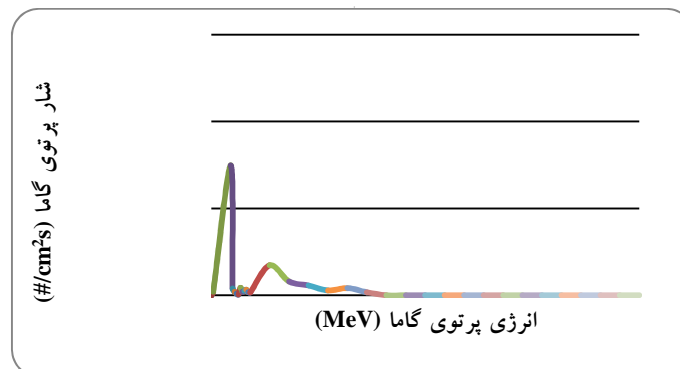
شار نوترونی محاسبه شده در محل سر بعد از قراردادن کندکننده‌ها در شکل (۵) و شار نوترون و گامای خارج شده از سیستم در شکل‌های (۶) و (۷) آورده شده است.



شکل (۵): نمودار طیف انرژی نوترون در محل سر پس از قرار دادن کندکننده و بازتابنده و حفاظ



شکل (۶): نمودار طیف انرژی نوترون عبور کرده از حفاظ



شکل (۷): نمودار طیف انرژی پرتوی گامای عبور کرده از حفاظ

همانگونه که در شکل (۵) دیده می‌شود انرژی نوترون‌ها در محل سر بسیار مناسب بوده و بیشترین شار در بازه نوترون‌های فوق حرارتی است. همچنین شار نوترون و گامای خروجی بسیار کم شده است. معادل دز که به کارکنان متصدی دستگاه می‌رسد محاسبه شده و تعداد دفعات مجاز انجام عمل BNCT برای این افراد در سال بدست آمد که نتایج در جدول شماره (۲) آورده شده است.

جدول ۲- نتایج محاسبات دزیمتری

| تعداد دفعات مجاز عمل در سال | دوز معادل رسیده در طی یک عمل (۶۰ دقیقه) (Sv) | دوز معادل رسیده در مدت یک ثانیه (Sv) |
|-----------------------------|--|--------------------------------------|
| 184                         | 1.08E-4                                      | 3.01E-08                             |

با توجه به اینکه نیاز نیست کارکنان متصدی دستگاه در مدت عمل و پرتو دهی زیاد نزدیک سیستم باشند پس همانگونه که مشاهده می‌شود حفاظ سازی به خوبی صورت گرفته و با این طراحی و شبیه سازی هر متصدی می‌تواند بیش از ۱۸۰ بار عمل در سال انجام دهد که بسیار مناسب می‌باشد.

#### بحث و نتیجه گیری :

با توجه به خروجی‌های برنامه و مشاهده‌ی شار مناسب نوترون‌های فوق حرارتی در محل سر و شار کم نوترون و گامای خروجی از حفاظ دور سیستم، می‌توان نتیجه گرفت که از شتابدهنده کرج می‌توان به عنوان چشمه مناسب برای BNCT استفاده نمود. البته ضرورت دارد، بررسی‌های دقیق‌تر محاسباتی و تحقیقات عملی در این راستا صورت پذیرد.

#### مراجع :

- 1) H.Hatanaka. Pure & App. Chem., Vol. 63, No. 3, pp. 373-374, Printed in Great Britain, 1991
- 2) <http://www.bnct.ir/>
- 3) Verónica A. Trivillin Radiobiology of BNCT mediated by GB-10 and GB-10+BPA in experimental oral cancer Applied Radiation and Isotopes 61,939-945, 2004.
- 4) فریدون عباسی و همکاران. رساله دکتری. اندازه گیری انرژی نوترون‌های سریع در فاصله انرژی ۱۴ تا ۳۰ میلیون الکترون‌ولت. ۱۳۸۱، ۱۰۷-۱۱۶
- 5) H.Tanaka, Y.Sakurai, et al. Improvement of dose distribution in phantom by using epithermal neutron source based on the Be(p,n) reaction using a 30 MeV proton cyclotron accelerator. Appl. Radiat. Isot. 67, 2009, S258-S261.
- 6) A.A.Burlon, A.J. Kreiner, A.A. valda, D.M. Minsky., An optimized neutron-beam shaping assembly for accelerator-based BNCT. Appl. Radiat. Isot.61, 2004, 811-815.
- 7) H. E. Hungerford, Reactor Materials, Vol. I, Materials, C. R. Tipton, Jr. (Ed.), p. 1086 Interscience Publishers, a division of John Wiley & Sons, Inc., New York, 1960
- 8) غیائی نژاد، مهدی؛ کاتوزی، مهران؛ حفاظت در برابر اشعه؛ سازمان انرژی اتمی ایران؛ چاپ اول ۱۳۷۹؛