



## شبیه سازی یک فانتوم سر در میدان نوترونی فوق حرارتی حاصل از راکتور تهران به منظور BNCT و محاسبه ی دز در آن

الهام، باورنگین<sup>۱</sup>؛ علیرضا، صدر ممتاز<sup>۱</sup>؛ حسین، خلفی<sup>۲</sup>؛ یاسر، کاسه ساز<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه گیلان - دانشکده علوم - گروه فیزیک

<sup>۲</sup> سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

### چکیده:

در این تحقیق به شبیه سازی رفتار یک فانتوم سر در قرارگیری در میدان نوترونی فوق حرارتی حاصل از راکتور تهران که به منظور نوترون درمانی با بور طراحی گردیده، پرداخته شده است. این فانتوم مناسب انجام آزمایشات دزیمتری در میدان های چندگانه ی نوترونی و گاما بوده و دستگاه های اندازه گیری دز نیز در نقاط متعددی از آن قابل تعبیه می باشد. در این مقاله، مقادیر دز بر حسب عمق نفوذ در فانتوم، برای طیف نوترونی حاصل از راکتور تهران محاسبه شده و تصویر سه بعدی توزیع دز در آن به دست آمد. نتایج مقادیر دز بر حسب عمق نفوذ در فانتوم، در محک کدهای درمانی و تست مناسب بودن باریکه فرودی برای درمان کاربرد دارد.

**کلمات کلیدی:** فانتوم، طیف نوترون فوق حرارتی، محاسبه توزیع دز، نوترون درمانی با بور.

### مقدمه :

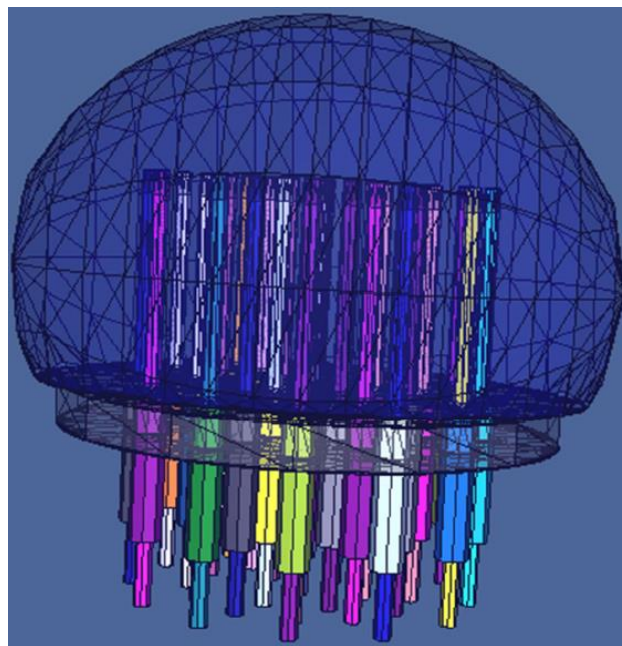
عموما دو نوع باریکه ی نوترونی مختلف برای نوترون درمانی با بور استفاده می گردد: نوترون های حرارتی و نوترون های فوق حرارتی. نوترون های حرارتی تنها برای درمان تومورهای سطحی نظیر سرطان پوست مفید هستند. در صورتی که برای درمان تومورهای عمیق تر از نوترون های فوق حرارتی که دارای انرژی و قدرت نفوذ بالاتر هستند، استفاده می گردد [۱]. در نوترون درمانی با بور نیز مانند سایر رادیوتراپی ها قبل از اینکه بیمار مستقیما تحت تابش قرار گیرد، باید تمامی تست های مربوط به دزیمتری بر روی یک فانتوم یا هندسه ی مرجع انجام شود. فانتوم ها الگوهای آزمایشی ای هستند که کل یا قسمتی از بدن انسان را شبیه سازی می کنند. هر چقدر این مدل ها به واقعیت نزدیکتر باشند، نتایج اندازه گیری ها دقیق تر است [۲]. در این تحقیق رفتار یک فانتوم سر در قرارگیری در میدان نوترونی فوق حرارتی حاصل از راکتور تهران



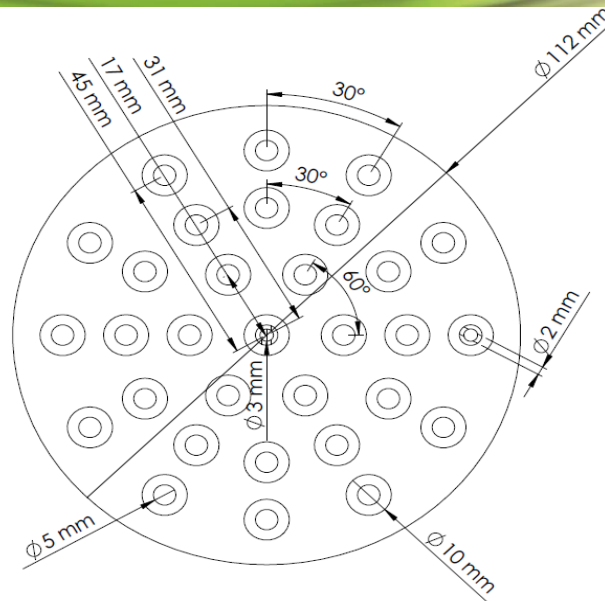
که به منظور نوترون درمانی با بور طراحی گردیده، پرداخته شده است. و مقادیر دز بر حسب عمق نفوذ در این فانتوم محاسبه شده است. همه ی شبیه سازی ها با استفاده از کد MCNPX صورت گرفته است.

### فانتوم

فانتوم شبیه سازی شده یک فانتوم بیضیگون است که به مدل سر Snyder نزدیک می باشد [۳]. دیواره آن از جنس acrylic بوده و درون آن از آب پر شده است. پایه ی فانتوم یک صفحه acrylic می باشد که از ۳/۵cm پائین تر از خط وسط بیضیگون شروع می شود. پایه ی فانتوم از ۳۱ ورودی تشکیل شده است این ورودی ها برای وارد کردن لوله های حامل ابزار سنجش دز به داخل حجم فانتوم تعبیه شده اند. نمای جانبی و تحتانی این فانتوم به ترتیب در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده اند.



شکل (۱): نمای جانبی فانتوم



شکل (۲): نمای تحتانی فانتوم

### محاسبه دز

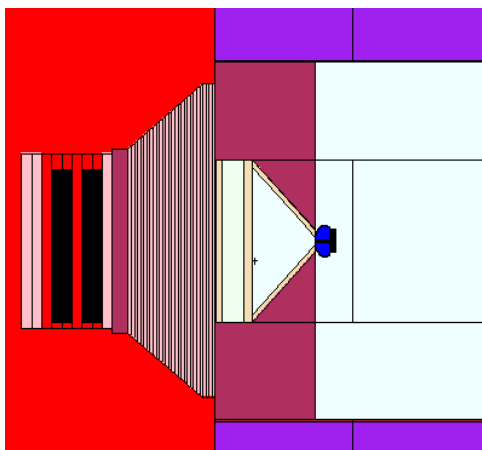
دزی که در BNCT به بافت سالم و تومور می رسد، به طور عمده ناشی از واکنش های  $^{14}\text{C} (n, p) ^{14}\text{N}$ ،  $^7\text{Li} (n, \alpha) ^4\text{He}$ ،  $^1\text{H} (n, \gamma) ^2\text{H}$  و  $^1\text{H} (n, n') ^1\text{H}$  می باشد. که به ترتیب با دز حرارتی  $D_{th}$ ، دز ناشی از اندرکنش بور  $D_B$ ، دز گاما  $D_\gamma$  و دز سریع  $D_{fast}$  نشان داده می شوند. از آنجایی که ذرات با انرژی یکسان از لحاظ بیولوژیکی اثرات مختلفی دارند لذا باید ضریب مربوط به اثر بیولوژیکی آنها، یعنی ضریب RBE، را نیز در نظر گرفت. مقادیر این ضرایب برای  $D_\gamma$ ،  $D_{th}$  و  $D_{fast}$  به ترتیب ۳/۲، ۳/۱، ۲ می باشند و ضریب RBE برای  $D_B$  در تومور ۳/۸ در نظر گرفته شده است. با تعریف های گفته شده، دز کل به صورت رابطه زیر تعریف می شود [۴].

$$D_{total} = D_\gamma \cdot RBE_\gamma + D_{th} \cdot RBE_{th} + D_{fast} \cdot RBE_{fast} + D_B \cdot RBE_B$$

نتایج:

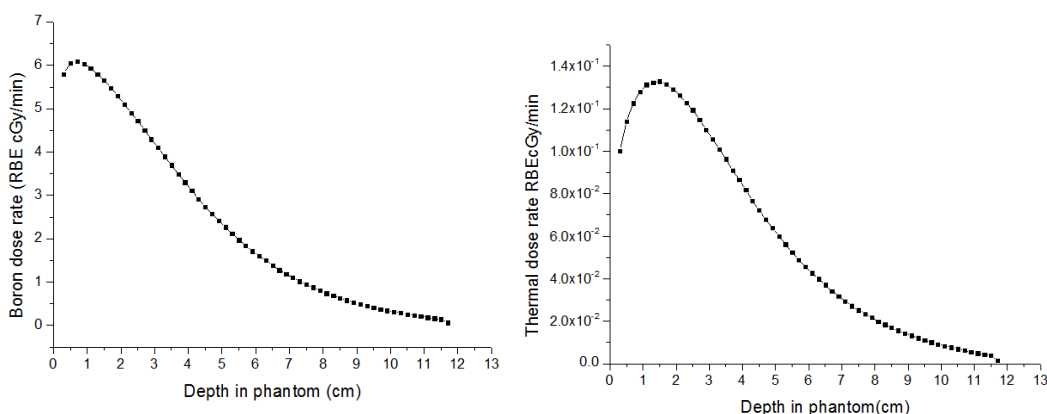


با استفاده از کد MCNPX برای طیف نوترونی فوق حرارتی راکتور تهران که به منظور BNCT طراحی شده است، مؤلفه های دز و دز کل بر حسب عمق نفوذ در داخل فانتوم به دست آمد. شکل ۳ موقعیت فانتوم در برابر باریکه ی نوترونی شبیه سازی شده را نشان می دهد. این شکل با استفاده از کد MCNPX و بر اساس شبیه سازی قسمت های مختلف از جمله، قلب راکتور تهران ، ستون حرارتی که از جنس گرافیت است، و یک مجموعه شکل دهنده باریکه که خود از کند کننده ، بازتابنده و فیلتر به منظور بهینه کردن باریکه نوترونی جهت BNCT تشکیل شده، طراحی شده است.

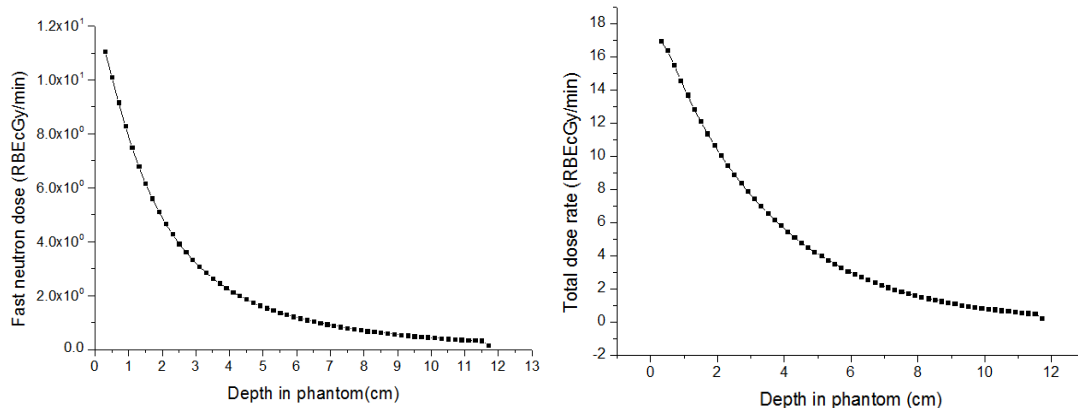


شکل (۳): موقعیت فانتوم در برابر باریکه نوترونی فوق حرارتی حاصل از راکتور تهران به منظور BNCT

مقدار دزها برای محور مرکزی فانتوم، بر حسب عمق نفوذ در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

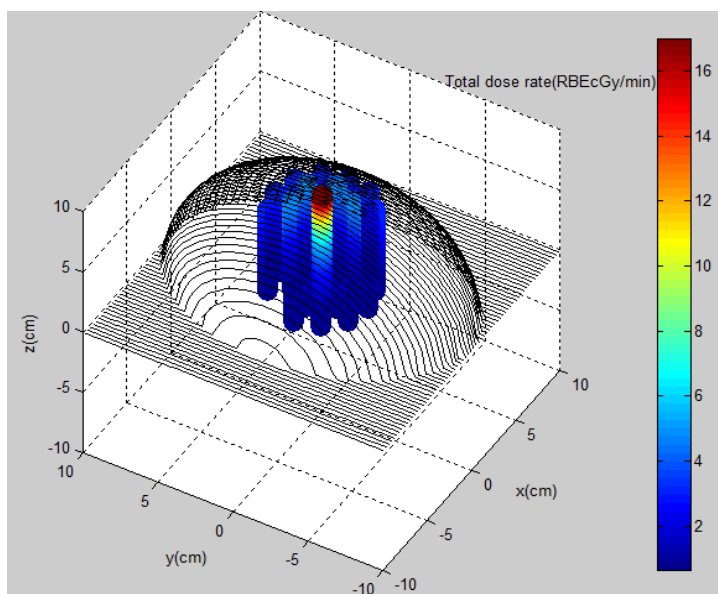


شکل (۴): دز نوترون های حرارتی و دز بور

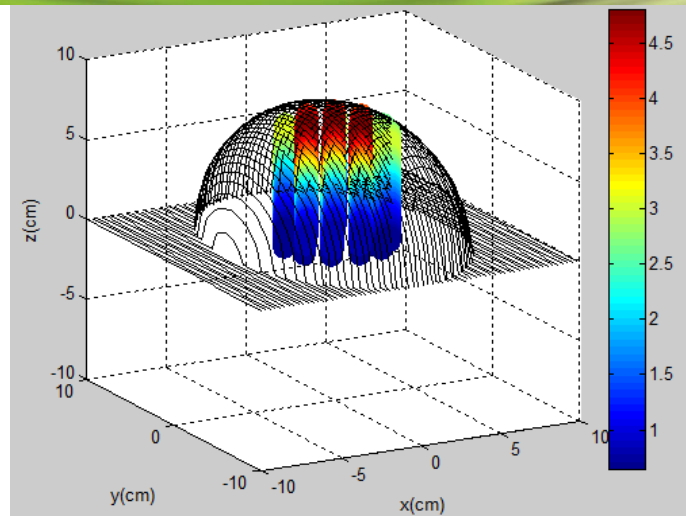


شکل (۵): دز نوترون های سریع و دز کل

توزیع دز کل در فانتوم در شکل ۶ نشان داده شده است همانطور که ملاحظه می شود با نفوذ به داخل فانتوم دز کل کاهش می یابد. و محور مرکزی فانتوم بیشترین مقدار دز را دریافت می کند. برای نمایش بهتر توزیع دز در اطراف محور مرکزی، در شکل ۷ توزیع دز بدون احتساب محور مرکزی نمایش داده شده است. در این شکل ها، جهت پرتو دهی از بالای سر و در راستای محور Z است.



شکل (۶): توزیع دز کل بر حسب عمق نفوذ (RBEcGy/min)



شکل (۷): توزیع دز کل بر حسب عمق نفوذ بدون نمایش دز محور مرکزی (RBECy/min)

#### بحث و نتیجه گیری

از آنجایی که در BNCT با میدان های چندگانه ی نوترونی و گاما مواجه هستیم، مساله ی دزیمتری در آن در مقایسه با سایر روش های پرتو درمانی پیچیده تر می باشد. قبل از اینکه بیمار مستقیماً تحت تابش قرار گیرد ، باید تمامی تست های مربوط به دزیمتری بر روی یک فانتوم انجام شود. بنابراین همواره تعیین یک فانتوم مناسب برای مقاصد دزیمتری از اهمیت برخوردار است. در این مقاله به شبیه سازی رفتار یک فانتوم در میدان نوترونی فوق حرارتی راکتور تهران پرداخته شده و مقادیر دز در نقاط مختلفی از آن بر حسب عمق نفوذ به دست آمد. این نتایج می توانند در محک کدهای درمانی و تست باریکه فرودی برای درمان کاربرد داشته باشند.

#### مراجع:

- [۱] N. Cerullo., J. Esposito., K .N. Leung., S .Custodero, "An irradiation facility for Boron Neutron Capture Therapy application based on a radio frequency driven D-T neutron source and a new beam shaping assembly". Revie of scientific instruments. ۲۰۰۲;۷۳(۱۰):۳۶۱۴-۸.
- [۲] B. M. Moores, "The role of phantoms in standardization of the radiological process". Radiation protection dosimetry, (۴۹) Issue ۱-۳, PP ۱۹-۲۶, ۱۹۹۳.
- [۳] W. S. Snyder, M. R. Ford, G. G. Warner, and H. L. Ficher, "Estimates of absorbed fractions for monogenetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogenous phantom". MIRD, J.Nucl. Med.suppl.۳pamphlet ۰ (revised)۰-۲۷.
- [۴] IAEA-TECDOC-۱۲۲۳, International Atomic Energy Agency. Current Status of Neutron Capture Therapy, ۲۰۰۱. pages ۶-۸.