



بررسی قابلیت ژل NIPAM برای دزیمتری درمان تومورهای سر و گردن به روش BNCT با استفاده از کد مونت کارلو

بحرالعلوم، میلاد*^(۱) - خالدی، نوید^(۲) - محمدی، عقیل^(۳) - لشنی، سعیده^(۱)

^۱گروه مهندسی هسته ای، مهندسی پرتوی پزشکی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲انستیتو پرتوی پزشکی نوین، تهران

^۳دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک (پلی تکنیک تهران)، تهران

چکیده:

در این مطالعه با در نظر گرفتن باریکه نوترونی طراحی شده با استفاده از BSA مناسب برای چشمه Cf_{252} به منظور BNCT، آهنگ دز جذبی تیروئید و نخاع در حین درمان تومور سر و گردن توسط کد MCNPX محاسبه شده است. همچنین از فانتوم MIRD با مواد استاندارد ICRU46 به عنوان مرجعی برای ارزیابی آهنگ دز جذبی ارگان های مذکور در فانتوم طراحی شده با ژل NIPAM استفاده شد. نتایج دزیمتری در ارگان های تومور، تیروئید و نخاع در فانتوم استاندارد بر حسب cGy/s به ترتیب $28.6e-5$ ، $2.08e-5$ و $5.99e-5$ و در فانتوم ژلی $35.2e-5$ ، $1.53e-5$ و $5.86e-5$ می باشد.

کلمات کلیدی: BNCT، NIPAM، دزیمتری

Evaluation of NIPAM gel capability for dosimetry treatment of head and neck tumors by BNCT method using monte carlo code

Bahrololoum, Milad¹; Khaledy, Navid²; Mohammadi, Aghil³; Lashani, Saeideh¹

¹Department of Medical Radiation engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

²Novin Medical Radiation Institututi, Tehran

³Department of Energy engineering and Physic, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran

Abstract:

In this study, considering the designed neutron beam using proper BSA, for the source of Cf_{252} for BNCT, the thyroid and spinal cord absorbing dose rhythm throughout head and neck tumor treatment calculated by MCNPX code. Furthermore, MIRD phantom with standard substance ICRU46 as a reference for assessment of the rhythm of absorbing dose of the mentioned organs in the designed phantom used with NIPAM gel. The dosimeter results in tumor organs, thyroid and spinal cord in phantom standard in cGy/s $28.6e-5$, $2.08e-5$, $5.99e-5$ and in jelly phantom $35.2e-5$, $1.53e-5$, $5.86e-5$ respectively.

Key word: dosimetry, NIPAM, BNCT



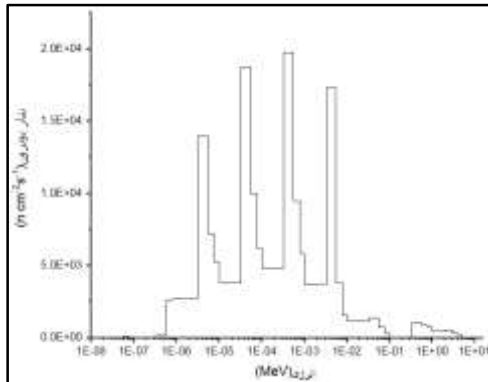
مقدمه :

نوترون تراپی با بور یا BNCT یک روش پیشرفته برای درمان تومور های مغزی است که اساس آن نشاندار کردن سلول های سرطانی با بور ۱۰ و پرتو دهی منطقه تومور با نوترون های با انرژی و شدت مناسب است. واکنش $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ به عنوان واکنش اصلی BNCT در سال ۱۹۳۵ توسط تیلور مطرح شد [۱]. ذرات آلفا و لیتیوم تولید شده ذراتی با انتقال خطی انرژی (LET) بالا هستند. در ۹۳٫۷٪ حالات، انرژی این ذرات به ترتیب ۱٫۴۷ MeV و ۰٫۸۴ MeV و برد آنها در آب به ترتیب برابر ۷٫۲ و ۴٫۱ میکرومتر است و در ۶٫۳٪ حالات انرژی این ذرات به ترتیب برابر ۱٫۷۸ MeV و ۱٫۱ MeV است و برد آنها در آب به ترتیب برابر ۸٫۹ و ۴٫۵ میکرومتر است. تعیین برد این ذرات توسط چارلتون صورت گرفته است [۲]. در سال ۱۹۳۶ امکان استفاده از این واکنش برای نابودی سلول های سرطانی توسط لایچر پیشنهاد شد [۳]. به این ترتیب انرژی حاصل از این واکنش در محدوده ای با ابعاد تقریباً ۹ میکرومتر تخلیه می شود که قابل مقایسه با ابعاد سلولی می باشد. بنابراین با آزاد کردن انرژی جنبشی خود در سلول های تومور باعث نابودی آنها میشود [۴]. اخیراً مطالعات گسترده ای در زمینه ایجاد باریکه نوترونی مناسب برای نوترون درمانی با استفاده از چشمه Cf_{252} انجام شده است. در این تحقیق نشان داده شده است که با یک BSA مناسب شامل کند کننده ، بازتابنده ، موازی کننده و فیلترهای مناسب می توان طیف انرژی نوترون در محدوده BNCT را بدست آورد [۵]. در این مقاله با در نظر گرفتن فانتوم سر و گردن MIRD به عنوان مرجع ، به دزیمتری تومور، تیروئید و نخاع در فانتوم طراحی شده از جنس ژل NIPAM به کمک کد مونت کارلوی MCNPX پرداخته شده است.

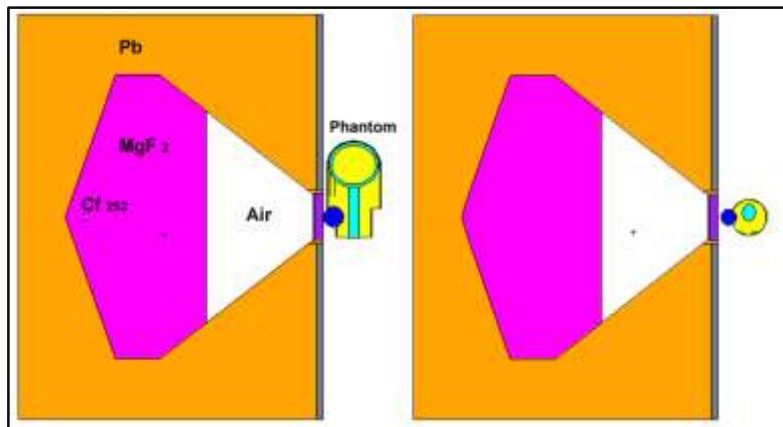
روش کار :

شکل (۱) طیف انرژی نوترون حاصل از BSA طراحی شده برای چشمه Cf_{252} که در این تحقیق به عنوان چشمه BNCT استفاده شده است و شکل (۲) موقعیت فانتوم نسبت به BSA را نشان می دهد. نوع فانتوم انتخاب شده برای این پژوهش فانتوم بالغ استاندارد MIRD است. با توجه به هدف مورد بررسی ، فقط قسمت سر و گردن این فانتوم همراه یک تومور (۶۵ ppm boron) به شعاع ۳ سانتی متر در ناحیه گردن ، تعریف شد. این فانتوم متعلق به یک مرد با وزن ۷۳ کیلوگرم و قد ۱۶۸ سانتی متر می باشد. جنس ارگان های مختلف بر اساس استاندارد ICRU 46 در نظر گرفته شده است [۶].

محاسبات دزیمتری یکبار در فانتوم با عناصر استاندارد و بار دیگر با همان فانتوم که بجای عناصر استاندارد از ژل NIPAM استفاده شده است انجام شد. آهنگ دز جذبی ارگان های تومور ، تیروئید و نخاع در این دو فانتوم مورد محاسبه قرار گرفتند. که شامل آهنگ دز ناشی از نوترون ، گاما و واکنش بور-۱۰ می باشد که باید هر یک از آنها را بطور جداگانه محاسبه نمود. آهنگ دز ناشی از نوترون و گاما به کمک کارت F6 که انرژی



شکل (۱) طیف انرژی نوترون حاصل از BSA طراحی شده برای چشمه Cf_{252} [۵].



شکل (۲) موقعیت فانتوم سر و گردن نسبت به BSA.

تخلیه شده در واحد جرم در هر ناحیه را می دهد ، محاسبه شد. آهنگ دز ناشی از واکنش بور-۱۰ با استفاده از ضرایب شار به دز و به کمک کارت های F4/DE4/DF4 محاسبه گردید.

دز معادل در هر عضو (H_T) ، برابر مجموع این سه مؤلفه دز با در نظر گرفتن ضریب وزنی مناسب طبق رابطه (۱) است.

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R} \quad (1)$$

که $D_{T,R}$ متوسط دز جذب شده در بافت T ناشی از پرتو R می باشد. طبق استاندارد ICRP 103 [۷] ، ضریب وزنی پرتوی گاما برابر یک و ضریب وزنی نوترون به صورت یک تابع پیوسته وابسته به انرژی نوترون طبق رابطه (۲) می باشد [۷].

$$W_R = \begin{cases} 2.5 + 18.2e^{-[Ln(E_n)]^2/6} & E_n < 1MeV \\ 5.0 + 17.0e^{-[Ln(2E_n)]^2/6} & 1MeV < E_n < 50MeV \end{cases} \quad (2)$$



برای در نظر گرفتن این تابع پیوسته به عنوان ضریب وزنی نوترون، از کارت های DE6/DF6 استفاده شد. ذرات حاصل از واکنش بور-۱۰ شامل لیتیوم و آلفا هستند که ضریب وزنی پرتو برای این ذرات، طبق استاندارد ICRP 103 برابر ۲۰ است که به عنوان ضریب وزنی دز ناشی از این واکنش در نظر گرفته شد. طبق استاندارد آژانس بین المللی انرژی اتمی [۸]، دز بیولوژیکی به صورت مجموع دز ناشی از نوترون های حرارتی (D_{th})، نوترون های سریع (D_f)، گاما (D_γ) و دز ناشی از واکنش بور-۱۰ (D_B) و با در نظر گرفتن ضریب بیولوژیکی (RBE) مناسب طبق رابطه (۳) برای هر یک تعریف می شود.

$$D_{total} = (RBE_B \times D_B) + (RBE_{th} \times D_{th}) + (RBE_f \times D_f) + (RBE_\gamma \times D_\gamma) \quad (3)$$

ضریب بیولوژیکی برای نوترون های حرارتی و سریع ۳,۲، برای گاما ۱ و برای بور-۱۰ در تومور برابر ۳,۸ و در بافت سالم ۱,۳ گزارش شده است [۸].

جهت محاسبه توزیع دز، از محاسبات مش تالی استفاده گردید. به کمک مش تالی می توان برخی کمیت های مهم فیزیکی را در مش هایی با ابعاد و شکل دلخواه محاسبه نمود. در اینجا از مش تالی نوع یک جهت محاسبه شار نوترون و فوتون و نیز مولفه های مختلف دز استفاده شد. از چهار مش تالی نوع یک جهت هر یک از مولفه های مختلف شار و دز تعریف گردید. دستور flux جهت محاسبه شار و دستور dose نشان دهنده کمیت مورد نظر جهت محاسبه و عدد n مربوط به فراخوانی توابع تبدیل شار به دز می باشد که با کارت MSHMFn تعریف شده اند. همچنین از کارت ERGSHn که معرف بازه انرژی مورد نظر جهت محاسبه شار در آن بازه می باشد نیز استفاده شد. توزیع شار نیز می تواند معیاری جهت ارزیابی شرایط درمان باشد.

نتایج :

جدول (۱) مقدار مولفه های مختلف دز در تومور، تیروئید و نخاع و جدول (۲) مقدار مولفه های مختلف دز به تفکیک در تومور در فانتوم استاندارد را نشان می دهد. جدول (۳ و ۴) مقادیر همین مولفه ها را در فانتوم طراحی شده با ژل NIPAM نشان می دهد.

جدول (۱) مقدار مولفه های مختلف دز در تومور، تیروئید و نخاع در فانتوم استاندارد (cGy/s)

Organ	Neutron	Gamma	Total
Tumor	25.22E-05	3.36E-05	28.6E-05
Thyroid	1.21E-05	0.87E-05	2.08E-05
Spinal core	4.49E-05	1.50E-05	5.99E-05

جدول (۲) مقدار مولفه های مختلف دز به تفکیک در تومور در فانتوم استاندارد (cGy/s)

	Boron (65ppm)	Thermal	Fast	Gamma	Total
Tumor	22.72E-05	1.21E-06	2.38E-05	3.36E-05	28.6E-5



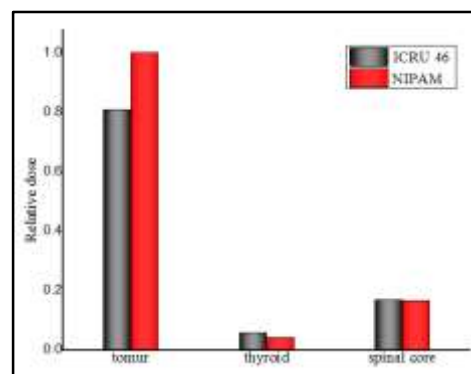
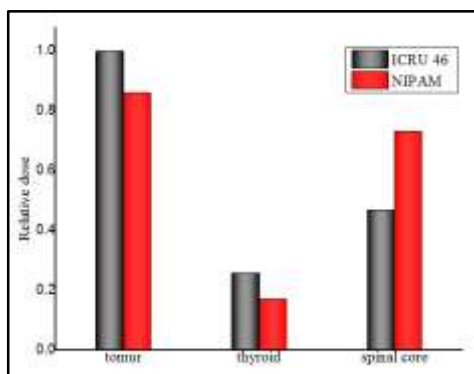
جدول (۳) مقدار مولفه های مختلف دز در تومور ، تیروئید و نخاع در فانتوم NIPAM (cGy/s)

Organ	Neutron	Gamma	Total
Tumor	32.3E-05	2.89E-05	35.2E-05
Thyroid	0.95E-05	0.57E-05	1.53E-05
Spinal core	3.40E-05	2.46E-05	5.86E-05

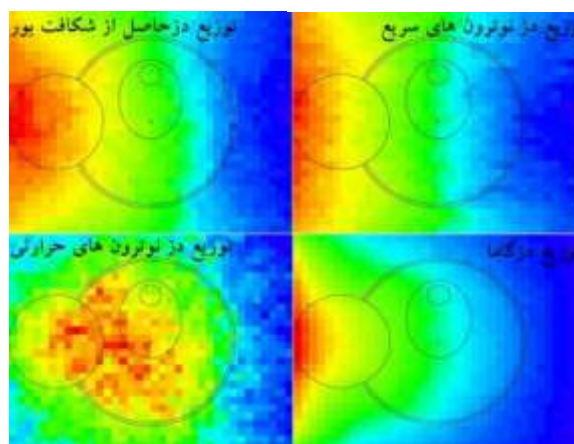
جدول (۴) مقدار مولفه های مختلف دز به تفکیک در تومور در فانتوم NIPAM (cGy/s)

	Boron (65ppm)	Thermal	Fast	Gamma	Total
Tumor	29.81E-5	5.08E-06	1.99E-05	2.89E-05	35.2E-05

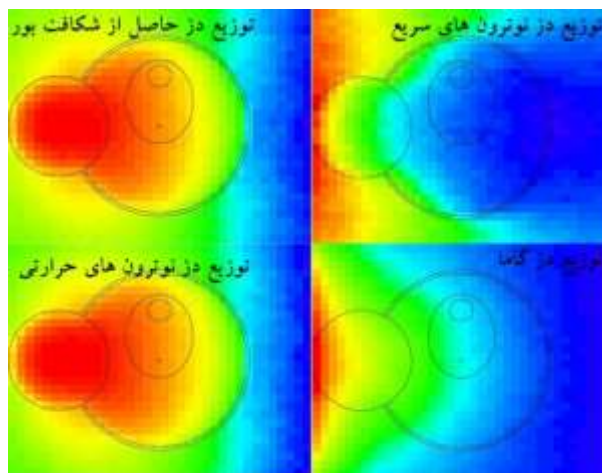
در شکل (۳) درصد کلی دز جذبی ناشی از همه ی مولفه های دز و در شکل (۴) درصد دز جذبی ناشی از اشعه گاما ، در تیروئید و نخاع نسبت به تومور با یکدیگر مقایسه شده است. در شکل (۵ و ۶) مش تالی های مربوط به مولفه های مختلف دز در فانتوم استاندارد و فانتوم طراحی شده با ژل NIPAM نشان داده می شود.



شکل (۴) درصد دز جذبی ناشی از اشعه گاما در تیروئید و نخاع نسبت به تومور. شکل (۳) درصد کلی دز جذبی ناشی از همه ی مولفه های دز در تیروئید و نخاع نسبت به تومور.



شکل (۵) مش تالی مربوط به مولفه های مختلف دز در فانتوم استاندارد.



شکل (۶) مش تالی مربوط به مولفه های مختلف دز در فانتوم طراحی شده با ژل NIPAM.

بحث و نتیجه گیری :

در این پژوهش به کمک کد MCNPX، با در نظر گرفتن فانتوم سر و گردن MIRD به همراه تومور در مقابل باریکه نوترونی حاصل از چشمه Cf_{252} که برای BNCT طراحی شده است به بررسی قابلیت ژل NIPAM برای دزیمتری درمان تومورهای سر و گردن پرداخته شد. نتایج درصد دز جذبی کل نشان می دهد دز جذبی در فانتوم ژلی بیشتر از فانتوم استاندارد است که می تواند بدلیل اختلاف در چگالی و عناصر تشکیل دهنده (مثل بیشتر بودن درصد وزنی هیدروژن) باشد. دز جذبی ناشی از اشعه گاما در تومور و تیروئید در فانتوم استاندارد بیشتر از فانتوم ژلی ولی دز نخاع در فانتوم ژلی بیشتر از فانتوم استاندارد است که می تواند بدلیل تعریف یک سلول استخوانی به عنوان ستون مهره ها در اطراف نخاع باشد که بدلیل چگال تر بودن این ناحیه دز کمتری به نخاع رسیده است. برای ساخت این فانتوم پیشنهاد می شود از ترکیب پودر سوخته استخوان گاو، رزین و اپوکسی [۹] برای قسمت های استخوانی به منظور نزدیک شدن به فانتوم استاندارد استفاده شود. همچنین می توان با یک طراحی درمان مناسب تر مثل تغییر زاویه تابش دهی، تغییر در قطر بیم خروجی میدان دز جذبی ارگان های سالم در معرض خطر را به میزان قابل توجهی کاهش داد.

تشکر و قدردانی :

سپاس فراوان از جناب آقای دکتر کاسه ساز بنخاطر راهنمایی های بی دریغشان.

مراجع :

- [1] Taylor H J, Goldhaber M , Nature (Lond.) ,135,pp 341- 348, 1935.
- [2] Charlton DE, Allen BJ, Monte carlo Calculations of Ion Passages Through Brain Endothelial nuclei During Born Neutron Capture Therapy, Int. J. Radiat. Biol.,64:6,pp 739-747, 1993.



[3] G.Locher, "Biological effects and therapeutic possibilities of neutrons, " American Journal of Roentgenol Vol.33 pp. 1-13 (1936).

[4] R.L.Moss, et al," The requirement and development of neutron beams for neutron capture(1997) therapy of brain cancer", Journal of Neuro-oncology, Vol.33 ,pp. 27-40,

[۵] بحرالعلوم، میلاد؛ خالدی، نوید؛ محمدی، عقیل؛ "بهینه سازی ساختار شکل دهنده پرتو نوترونی با استفاده از چشمه کالیفرنیوم در نوترون درمانی"، کنفرانس فیزیک ایران، یزد، دانشگاه یزد، ۶۴۴-۶۴۲ (۱۳۹۶)

[6] ICRU, P. (1992). "Neutron Interaction Data for Body Tissues." ICRU Report 46.

[7] ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

[8] IAEA-TECDOC-1223 (2001). "Current status of neutron capture therapy ".

[۹] حسینی اقدم، میررشید؛ آقامیری، سید محمودرضا؛ "طراحی و امکان سنجی ساخت فانتوم آنتروپومورفیک تمام بدن انسان برای استفاده در بخش پرتودرمانی"، مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۲، شماره ۳، تابستان ۱۳۹۳