

بررسی دوز و شار ذرات ثانویه درون بافت ریه در پروتون‌تراپی پستان با استفاده از کد شبیه‌سازی مونت کارلو

فاطمه معروفخانی و سید محمد مهدی ابطیحی*

دانشگاه بین الملل امام خمینی (ره)، قزوین، قزوین، ایران.

*قزوین، دانشگاه بین الملل امام خمینی (ره)، گروه فیزیک، کدپستی: ۳۴۱۴۸-۹۶۸۱۸

پست الکترونیکی: sm.abtahi@sci.ikiu.ac.ir

چکیده

به طور معمول در یک فرآیند پرتودرمانی با فوتون علاوه بر سلول‌های سرطانی، به سلول‌های سالم نیز آسیب وارد می‌شود، اما در پروتون‌درمانی این آسیب‌های ناخواسته به حداقل خود می‌رسند. زیرا پروتون‌ها بیشترین میزان انرژی خود را در انتهای مسیر که به قله براگ مشهور است وارد می‌کنند. در این مطالعه، بازه‌ی مفید انرژی برای درمان سرطان پستان و شار ذرات ثانویه تولید شده در فرآیند پروتون‌درمانی، برای تعیین ریسک ابتلا به سرطان ثانویه در بافت ریه، مورد بررسی قرار گرفت. کد مونت کارلو برای شبیه‌سازی ترابرد تابش و حصول نتایج دقیق، و همچنین فانتوم زن ORNL برای شبیه‌سازی بدن انسان به کار گرفته شد. چشمه نقطه‌ای پروتون در بازه‌ی انرژی ۶۰ تا ۷۰ مگا الکترون ولت به سمت فانتوم ترابرد شده و تأثیر این پرتو بر روی ارگان حیاتی ریه ارزیابی گردید. در نهایت میزان شار ذرات ثانویه تولیدی برحسب انرژی پروتون ورودی محاسبه شده و نمودار تغییرات شار این ذرات برحسب انرژی رسم شده است. بر مبنای نتایج حاصل از شبیه‌سازی، میزان دوز ثانویه رسیده به ارگان ریه در انرژی ۷۰ مگا الکترون‌ولت به ازای یک میلی‌سیورت دوز درمانی پروتون در پستان، ۰٫۱۰۵۱ میلی‌سیورت در ریه چپ و میزان ۰٫۰۱۷۸ میلی‌سیورت در ریه راست محاسبه گردید. با بررسی نتایج، می‌توان گفت که پروتون‌درمانی از دقت بالاتری نسبت به رادیوتراپی معمول، برخوردار است و آسیب‌های کمتری به سلول‌های سالم خارج از محدوده تومور وارد می‌کند. زیرا در بازه انرژی مفید محاسبه شده، بیشترین دوز یا آسیب به تومور وارد می‌شود. اما با این حال در این روش درمانی، ذرات ثانویه ناخواسته تولید می‌شوند که نمی‌توان از آنها بخصوص در موارد تومورهای کودکان چشم‌پوشی کرد.

کلیدواژگان: پروتون‌تراپی، سرطان پستان، مونت کارلو، MCNPX.

۱. مقدمه

پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تا سال ۲۰۱۵ میلادی آمار کل مرگ و میرها بر اثر بیماری‌های غیر واگیردار حدود ۲۵ درصد خواهد بود و سهم سرطان حدود ۱۳ درصد پیش‌بینی شده است [۱]. شایعترین سرطان و یکی از علل مهم مرگ و میر در بین زنان

اشعه، رادیوتراپی و پزشکی هسته‌ای کاربرد دارد و از دقت آماری بالایی برخوردار است [۱۱]. این کد محصول آزمایشگاه لوس آلاموس در ایالات متحده می‌باشد و هدف اصلی آن بررسی ترابرد ذرات گوناگون است. در این کد، داده‌ها مربوط به سطح مقطع‌های برخورد ذرات و برهمکنش بین آنها و مواد گوناگون است [۵]. برای اجرای کد ابتدا باید هندسه مسئله تعریف شود، که شامل مجموعه کارت‌های سلول و کارت سطح سپس پارامترهای فیزیکی مانند چشمه، تعریف و در نهایت برای محاسبه فاکتور مورد نظر، تالی (فرمان‌هایی که توسط کاربر به کد داده می‌شود تا خروجی مورد نظر تولید شود) مناسب را وارد کرده و برنامه اجرا می‌شود. به علت خواص فیزیکی پروتون‌ها و پاسخ گسترده آنها در مواد گوناگون، تفاوت‌های خاصی در توزیع دوز آنها در مواد مختلف جاذب وجود دارد [۱۲]. بنابراین برای بدست آوردن توزیع دوز و ذرات ثانویه نیاز به مدل‌سازی ماده جاذب خواهیم داشت و از آنجا که اندازه‌گیری‌های دوز جذب و بررسی ذرات ثانویه در بدن انسان غیرممکن می‌باشد، می‌توان از فانتوم‌ها در کد شبیه‌سازی ام سی ان پی ایکس استفاده کرد.

۲.۱. فانتوم

فانتوم‌های انسان و کد شبیه‌سازی مونت کارلو برای توزیع دوز ذرات، محاسبات دوز و ذرات ثانویه در پرتودرمانی، بسیار رایج هستند. مدل‌های تحلیلی بدن انسان در نشریات آر ان ال شرح داده شده‌اند [۱۳]. این فانتوم‌ها اساساً مدل‌های هندسی جامد هستند که خصوصیات آناتومیکی بیرونی و داخلی بدن انسان را با استفاده از معادلات تحلیلی توصیف می‌کنند و تمام ارگان‌ها در این فانتوم و کل بدن انسان با معادلات تحلیلی سه بعدی^۳ نشان داده شده‌اند.

۵۱-۵۰ ساله، سرطان پستان می‌باشد. در سال ۲۰۰۰ میلادی براساس آمار جهانی، یک میلیون نفر به سرطان پستان مبتلا شده‌اند که رقمی معادل ۵۵ درصد کل سرطان‌ها را شامل می‌شود [۲،۳]. در ایران نیز ۵۲ درصد سرطان‌هایی که زنان به آن مبتلا می‌شوند را سرطان پستان تشکیل می‌دهد [۲].

از این رو اهمیت پیشگیری در مراحل قبل از ابتلا و درمان بعد از آن، بیش از پیش آشکار می‌شود. امروزه برای درمان سرطان پستان روش‌های گوناگونی وجود دارد. رادیوتراپی یکی از مهمترین روش‌های درمانی است، اما در رادیوتراپی معمولی احتمال آسیب رسیدن به بافت‌های سالم وجود دارد. در این مطالعه، به جای استفاده از پرتو گاما، از پرتوی پروتون که در هادرون‌تراپی مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای درمان سرطان پستان استفاده شده و برای شبیه‌سازی این فرایند از کد ام سی ان پی ایکس^۱ استفاده گردید. کد ام سی ان پی ایکس یک کد شبیه‌سازی ترابرد تابش بسیار قدرتمند بوده و در مطالعات مختلف به ویژه در بررسی پرتو پروتون بر روی یک ضخامت مشخص تطابق خوبی با نتایج تجربی دارد [۴-۶].

تأثیر درمانی پروتون، برای اولین بار توسط ویلسون طی مقاله‌ای در سال ۱۹۴۶ معرفی شد [۷]. هنگامی که پروتون درون ماده حرکت می‌کند بیشترین میزان دوز خود را تا قبل از توقف کامل در ناحیه‌ای به نام قله براگ به ماده منتقل می‌کند علاوه بر این پروتون در برهمکنش با هسته‌های محیط، ذرات ثانویه‌ای مانند نوترون و فوتون تولید می‌نماید، که محاسبه میزان تولید این ذرات بسیار مهم است زیرا این ذرات ریسک ابتلا به سرطان ثانویه را تعیین می‌کنند [۸-۱۰].

۱.۱. مونت کارلو

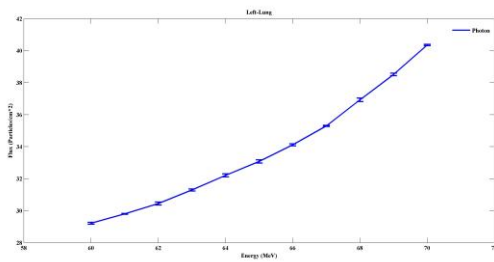
روش شبیه‌سازی مونت کارلو تقریباً در همه موضوعات فیزیک پزشکی و مهندسی هسته‌ای از جمله حفاظت در برابر

^۲ORNL

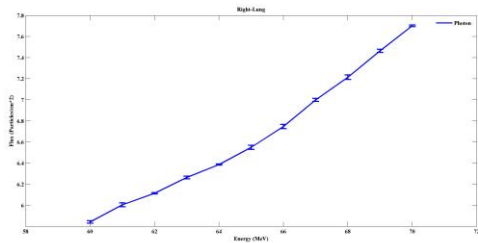
^۳3Dimention

^۱MCNPX

می توانند بیشترین میزان انرژی خود را در انتهای مسیر حرکتشان که به قله براگ^۱ مشهور است، تخلیه کنند و این باعث می شود پروتون درمانی در درمان سرطان از دقت بالایی برخوردار باشد ولی مبحثی که ضروری است به آن پرداخته شود، برخورد پروتون با مواد تشکیل دهنده بافت پستان است که ذرات ثانویه همچون فوتون ها و نوترون ها حاصل می شوند که این ذرات بسیار خطرناک بوده و ممکن است بعدها منجر به سرطان ثانویه گردند. محاسبات نشان داد که به ازای یک میلی سیورت دوز درمانی پروتون درون بافت پستان در انرژی ۷۰ مگا الکترون ولت، میزان ۰.۰۱۷۸ میلی سیورت دوز ناشی از نوترون ها به ریه راست و ۰.۱۰۵۱ میلی سیورت به ریه چپ، رسیده و همچنین دوز ناشی از فوتون ها در ریه راست ۰.۰۰۰۰۰۰۰۶۳۳۱ میلی سیورت و ۰.۰۰۰۰۰۰۰۳۷۹۳ میلی سیورت در ریه چپ محاسبه گردید، نتایج حاکی از آن است که نوترون ها بسیار خطرناک تر از فوتون ها بوده و لازم است به ازای این مقادیر دوز، به بررسی شار این ذرات ثانویه در ارگان حیاتی ریه پردازیم.

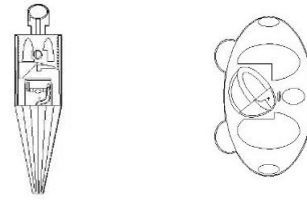


(الف-۳)



(ب-۳)

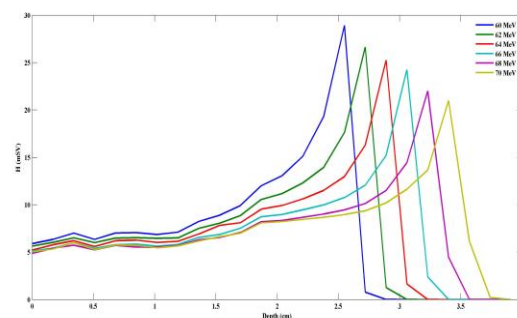
شکل (۳) شار فوتون ها در ریه چپ (الف-۳) و در ریه راست (ب-۳)، به همراه میزان خطا به ازای یک میلی سیورت دوز درمانی پروتون.



شکل (۱): مقطع عرضی (شکل راست) و مقطع طولی (شکل چپ) از فانوم زن بالغ آر ان ال [۱۴]

۲. روش و مواد

در این تحقیق از فانوم آر ان ال زن بالغ برای ورودی کد شبیه سازی ام سی ان پی استفاده شد و پروتون به عنوان یک چشمه نقطه ای در راستای پستان چپ شبیه سازی شد. پستان چپ به دلیل نزدیکی به ارگان های حیاتی همچون ریه و قلب از اهمیت بیشتری برخوردار است و به همین دلیل ارزیابی ها و محاسبات با شبیه سازی چشمه پروتون در مقابل پستان چپ حاصل گردیده است. طول پستان در این فانوم ۴ سانتی متر اندازه گیری شد و به منظور پوشش دهی کل این بافت برای نابودی سلول های سرطانی، انرژی های مختلف پروتون بررسی گردید که در شکل ۲، توزیع دوز پروتون در بازه انرژی ۶۰ تا ۷۰ مگا الکترون رسم گردید.

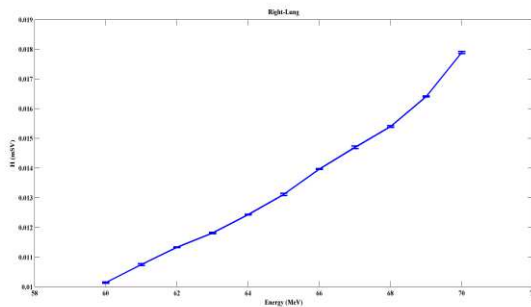


شکل (۲): توزیع دوز پروتون در بازه انرژی [۶۰-۷۰]. مگا الکترون ولت

با گام ۲

محور افقی، عمق پستان چپ بر حسب سانتی متر و محور عمودی، انرژی پرتو پروتون فرودی را نشان می دهد که با افزایش انرژی، قدرت نفوذ پرتوهای پروتون افزایش یافته و می توانند تومورهایی که در عمق بیشتر قرار گرفته اند را نابود کنند. همچنین برخلاف پرتو درمانی با فوتون، پروتون ها

^۱ Bragg peak



(ب-۵)

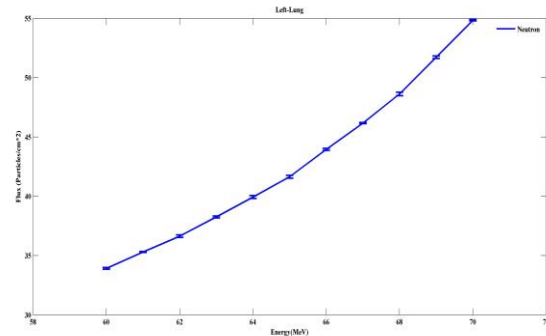
شکل (۵). دوز ثانویه ناشی از نوترون‌ها و فوتون‌ها در ریه چپ (۵-)
الف) و ریه راست (۵-ب).

محور افقی انرژی بر حسب الکترون ولت و محور عمودی دوز معادل بر حسب میلی سیورت را نشان می‌دهد. دوز کل ناشی از ذرات ثانویه در ریه چپ و ریه راست در انرژی‌های ۶۰ تا ۷۰ مگا الکترون ولت به همراه میزان خطا در شکل ۵ رسم شده است و بیشترین دوز ناشی از ذرات ثانویه فوتون‌ها و نوترون‌ها به علت نزدیکی به پستان چپ، به ریه چپ رسیده اند.

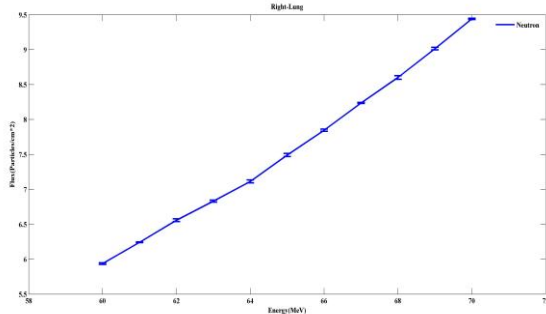
۳. نتیجه گیری

با افزایش انرژی پروتون تا ۷۰ مگا الکترون ولت، شار نوترون‌ها نسبت به فوتون‌ها بیشتر شده و به علت قدرت نفوذپذیری بالا خطرناک‌تر می‌باشند گرچه پروتون درمانی نسبت به سایر روش‌های پرتو درمانی از دقت بالاتری برخوردار است ولی در مبحث ذرات ثانویه نیاز به بررسی‌های بیشتر می‌باشد زیرا این موضوع در درمان تومورهای کودکان از اهمیت بالایی برخوردار است و قابل چشم پوشی نیست.

محور افقی انرژی بر حسب مگا الکترون ولت و محور عمودی شار ذرات بر حسب (ذرات/سانتی متر مربع)^۱ را نشان می‌دهد که با افزایش انرژی، شار نوترون افزایش چشمگیری نسبت به شار فوتون خواهد داشت.

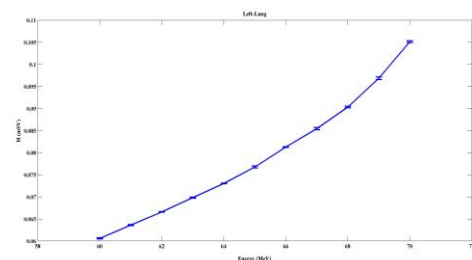


(الف-۴)



(ب-۴)

شکل (۴): شار نوترون‌ها در ریه چپ (الف-۴) و در ریه راست (ب-۴)، به همراه میزان خطا به ازای یک میلی سیورت دوز درمانی پروتون. بررسی شکل ۳ و شکل ۴ نشان می‌دهد که نوترون‌ها به عنوان ذرات ثانویه مضرتر و با قابلیت نفوذ بیشتر، دارای شار بیشتری نسبت به فوتون‌ها هم در ریه چپ و هم در ریه راست می‌باشند و ضروری است که به میزان دوز ثانویه ناشی از فوتون‌ها و نوترون‌ها درون بافت حیاتی ریه پرداخته شود.



(الف-۵)

^۱ (Particle/cm*2)

۴. مراجع

- [1] E.A. Van Lier, HJ. Van Kranen, JA. Van Vliet, et al. "Estimated number of new cancer cases attributable to infection in the Netherlands in 2003"; *Cancer Lett*, vol. 272 (2008) 226-31.
- [2] K. Hajian, A. R. Gholizadeh Pasha, S. h. Bozorgzadeh. "Association of Obesity and Central Obesity with Breast Cancer Risk in Pre- and Postmenopausal Women"; *J Babol Univ Med Sci*, vol.15 (2013) 7-15.
- [3] D. Weber, C. Ares, A. J. Lomax, et al. "Radiation therapy planning with photons and protons for early and advanced breast cancer: an overview"; *Radiat Oncol*, (2006) 1: 22.
- [4] I. G. Evseev, H. R. Schelin, S. A. Paschuk, et al. "Comparison of SRIM, MCNPX and GEANT simulation with experimental data for thick Al absorbers"; *Appl Radiat Isot*, 68 (2010) 948-50.
- [5] J. F. Briesmeister. "MCNP-TM-A general Monte Carlo N-particle transport code" Version 4C, LA-13709-M, Los Alamos National Laboratory (2000).
- [6] M. Mirzaie, A. A. Mowlavi, S. Mohammadi, et al. "Absorbed dose calculation from beta and gamma rays of ¹³¹I in ellipsoidal thyroid and other organs of neck with MCNPX code"; *Iran South Med J*; 15 (2012) 201-8.
- [7] R. R. Wilson. "Radiological Use of Fast Protons"; *Radiology*; 47 (1946) 487-91.
- [8] V. Tatischeff, M. Casse, J. Kiener, et al. "Gamma-ray lines of carbon and oxygen from Orion"; *Ast Phys J*, (1996) 472: 205.
- [9] J. M. Rychman. "Using MCNPX to Calculate Primary and Secondary Dose in Proton Therapy" [Thesis], Georgia Institute of Technology, (2011).
- [10] A. A. Mowlavi, M. R. Fornasie, M. De Denaro. "Calculate Energy Deposition, Photon and Neutron Production in Proton Therapy of Thyroid Gland Using MCNPX"; *Appl Radiat Isot*; 69 (2011) 122-5.
- [11] R. Gheisari, M. M. Firoozabadi, H. Mohammadi, "Optimization of Geometry and Composition of a Neutron System for Treatment by Boron Neutron Capture Therapy"; *Iran south Med J*; 17 (2015)1113-9.
- [12] C. Ares, S. Khan, AM. MacArtain, et al. "Postoperative proton radiotherapy for localized and locoregional breast cancer: potential for clinically relevant improvements?" *Int.J.Radiat.Oncol.Biol Phys* (2010) 76:685-97.
- [13] A. V. Ulanovsky, K. F. Eckerman. "Absorbed fractions for electron and photon emissions in the developing thyroid: fetus to five-years-old"; *Radiat Prot Dosimetry*. (1998), 79(1-4):419-24.
- [14] B. Gottschalk. The current version of NEU 2009. Available from: <http://huhepl.harvard.edu/gottschalk>

