



تعیین پارامترهای باریکه‌ی الکترون اولیه‌ی دستگاه واریان ۲۱۰۰C/D با باریکه‌ی MCNPX ۱۸ MV با استفاده از کد

رازقندی، سمیرا^(۱) - کریمی شهری، کیان‌دخت^(۱) - فیروزآبادی، محمد مهدی^(۱)

^۱ دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده:

در این مطالعه شتابدهنده خطی واریان مدل ۲۱۰۰C/D با باریکه‌ی ۱۸ MV با استفاده از کد MCNPX 2.6.0 شبیه‌سازی شده است. هدف این مطالعه تعیین دقیق پارامترهای انرژی و پهنای باریکه‌ی الکترونی فرودی بر سطح هدف می‌باشد که با استفاده از بررسی تاثیر تغییر این دو پارامتر بر درصد دز عمقی و دز پروفایل از طریق محاسبه‌ی درصد اختلاف نسبی بین نتایج محاسبات و اندازه‌گیری تجربی تعیین شد. برطبق نتایج بررسی به ترتیب مقادیر ۱۸/۵ MeV و ۰/۱۴ cm برای انرژی و پهنای باریکه تعیین گردید.

کلمات کلیدی: کد MCNPX شتابدهنده خطی واریان، پهنای باریکه‌ی الکترونی، درصد دز عمقی

Determination of initial electron beam parameters of 18 MV Varian 2100C/D linear accelerator using MCNPX

Razghandi, Samira; Karimi Shahri, Keyhandokht ; Firoozabadi, Mohammad Mehdi
University of Birjand, Faculty of Science, Physics Department

Abstract:

In this study, an 18 MV Varian 2100C/D medical linear accelerator has been simulated by MCNPX 2.6.0 code. The aim of this study is to determine the mean energy and full width at half maximum (FWHM) of the primary electron beam incident on the target, by analysis of their effects on percent depth dose (PDD) and dose profile. Investigations were performed by comparison of Monte Carlo results with experimental measurements. According to our results, the values of energy and FWHM are obtained 18.5MeV and 0.14 cm. respectively

Keywords: MCNPX code, Varian linear accelerator, full width at half maximum of electron beam, Percent Depth Dose



مقدمه:

در روش درمانی رادیوتراپی، با استفاده از تابش باریکه‌های فوتونی به ناحیه‌ی تومور، رشد سلول‌های سرطانی در این ناحیه کند یا متوقف می‌شود. باریکه‌های فوتونی معمولاً از طریق تابش‌های ترمزی و از برخورد الکترون‌های شتابدار به سطح هدف، تولید می‌شوند. شتابدهنده‌های مختلفی مانند واریان، زیمنس و الکتا در حالت‌های فوتونی و الکترونی و در بازه‌های انرژی ۵ تا ۲۵ MeV در رادیوتراپی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. یکی از مسائل مطرح در مورد رادیوتراپی تنظیم طرح درمان‌های دقیق است به طوری که کمترین آسیب به بافت‌های سالم در مجاورت بافت تومور وارد شود [۲]. اولین گام در این مسیر طراحی شتابدهنده با استفاده از کدهای مونت کارلو می‌باشد [۳]. در فرایند شبیه‌سازی بررسی تمامی پارامترهایی که توزیع دز رسیده به بیمار را تحت تاثیر قرار می‌دهد حائز اهمیت است [۴]. یکی از عوامل تاثیرگذار بر توزیع دز خصوصیات باریکه‌ی الکترونی شتاب داده شده قبل از برخورد به هدف می‌باشد [۵، ۶]. چشمه‌ی الکترونی معمولاً به صورت تابع توزیع گاوسی در نظر گرفته می‌شود که میانگین انرژی و شدت توزیع شعاعی آن، دو خصوصیت تاثیرگذار در شبیه‌سازی باریکه‌ی فوتونی می‌باشند [۷] که تعیین آن‌ها به شدت به نوع دستگاه وابسته می‌باشد و برای دستگاه‌های شتابدهنده‌ی از یک نوع نیز متفاوت می‌باشند [۸]. به‌طور مثال شیخ باقری و همکاران [۷] و بیگی و همکاران [۹] انرژی باریکه را 18.3 MeV به ترتیب برای دستگاه‌های واریان 2160 C و 2100 C تعیین کردند. الله وردی و همکاران نیز برای مدل دیگر دستگاه واریان (2300 C/D) انرژی و پهنای باریکه را به ترتیب 18.2 MeV و 0.14 cm گزارش نمودند [۱۰]. در مطالعه‌ی دیگر توسط پارک و همکاران رابطه‌ی بین پارامترهای باریکه‌ی الکترونی و توزیع دز با استفاده از کد Geant4 برای دستگاه واریان IX 2300 با باریکه‌ی 6 MV بررسی شد که نتایج آن‌ها اهمیت تعیین دقیق این پارامترها را نشان می‌دهد [۱۱].

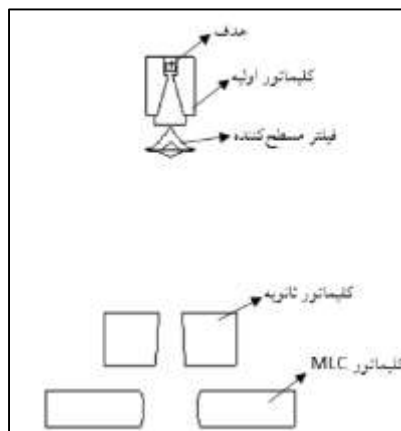
در این مطالعه دستگاه شتابدهنده‌ی خطی واریان مدل 2100 C/D واقع در بیمارستان پارس تهران با باریکه‌ی 18 MV با استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX 2.6 شبیه‌سازی شده است و تاثیر تغییر مقدار انرژی و پهنای باریکه بر توزیع دز با محاسبه‌ی در صد دز عمقی و دز پروفایل در میدان تابشی معمول $10 \times 10 \text{ cm}^2$ مورد بررسی قرار گرفت و از طریق مقایسه با نتایج تجربی مقادیر انرژی و پهنای باریکه تعیین گردید.

روش کار:

شبیه‌سازی سر دستگاه شتابدهنده‌ی خطی



بخش سر دستگاه شتابدهنده‌ی خطی واریان مدل 2100C/D با باریکه‌ی 18 MV با استفاده از کد محاسباتی MCNPX 2.6 شبیه‌سازی شد. اجزاء قسمت سر شامل هدف، کلیماتور اولیه، فیلتر مسطح‌کننده، کلیماتورهای ثانویه و کلیماتورهای MLC می‌باشند که براساس اطلاعات کارخانه به صورت دقیق شبیه‌سازی شده است. در ادامه فانتوم مکعبی از جنس آب با ابعاد $50 \times 50 \times 50\text{ cm}^3$ در فاصله‌ی 100 cm از چشمه قرار گرفت. شکل (۱) نمایی دو بعدی از هندسه‌ی شبیه‌سازی شده برای دستگاه را نشان می‌دهد.



شکل (۱) نمایی دو بعدی از اجزاء شبیه‌سازی شده سر دستگاه شتابدهنده واریان 2100C

در کد MCNPX انرژی چشمه از طریق پارامتر Erg در کارت Sdef به صورت توزیع گاوسی تعریف شده است که پهنا و انرژی میانگین مربوط به آن به ترتیب از طریق پارامترهای a و b در این کارت مشخص می‌گردد که در آن پارامتر a از طریق رابطه‌ی $FWHM = 2a(\ln 2)^{1/2}$ با پهنا کامل در نیم بیشینه ارتباط می‌یابد. محاسبات دز، با استفاده از مش تالی نوع ۳ و تقسیم بندی فانتوم به سلول‌هایی مکعبی با ابعاد $11 \times 0.5 \times 2\text{ cm}^3$ صورت پذیرفت. به منظور افزایش تعداد فوتون‌های تابش ترمزی تولید شده پارامتر bnum در کارت phys:e مساوی ۱ در نظر گرفته شد. برای کاهش زمان محاسبات انرژی قطع الکترون و فوتون به ترتیب برابر 0.5 و 0.1 MeV انتخاب شد. زمان اجرای برنامه‌ها به گونه‌ای در کارت ctme در نظر گرفته شد که ۱۰ چک آماری انجام شود و خطای محاسبات به زیر ۳٪ کاهش یابد.

اندازه‌گیری تجربی و اعتبار سنجی شبیه‌سازی

سنجش اعتبار شبیه‌سازی انجام شده براساس مقایسه‌ی داده‌های تجربی مربوط به درصد دز عمقی و دز پروفایل با نتایج محاسبات از طریق محاسبه‌ی درصد اختلاف نسبی با استفاده از رابطه‌ی (۱) صورت گرفت.



$$\frac{D_i(\text{مرجع}) - D_i(\text{محاسبه شده})}{D_i(\text{مرجع})} \times 100 \quad (1)$$

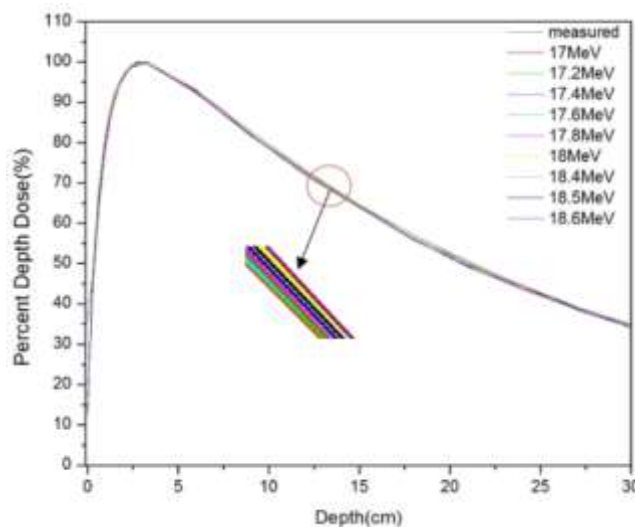
که در آن D_i (تجربی) و D_i (محاسبه شده) به ترتیب درصد دز عمقی اندازه‌گیری و محاسبه شده با استفاده از کد MCNPX در عمق i می‌باشند. درصد دز عمقی که توزیع دز در راستای محور مرکزی را مشخص می‌کند، مطابق رابطه‌ی (۲) به صورت درصد نسبت دز در هر عمق دلخواه D_d به دز در نقطه‌ی مرجع (دز بیشینه) D_{d0} تعریف می‌شود، درصد دز عمقی با استفاده از اتاقک یونی Scanditronix NACP chamber در عمق‌های مختلف درون فانتوم آب (RFA-300 (Scanditronix Wellhofer AB, Sweden) اندازه‌گیری شده است.

$$PDD = \frac{D_d}{D_{d_0}} \times 100 \quad (2)$$

دز پروفایل که میزان دز جذب شده در فواصل مختلف در راستای عمود بر محور مرکزی (در راستای X یا Y) در یک عمق مشخص می‌باشد، در عمق ثابت ۱۵ cm، در میدان تابشی $10 \times 10 \text{ cm}^2$ اندازه‌گیری شده است.

نتایج:

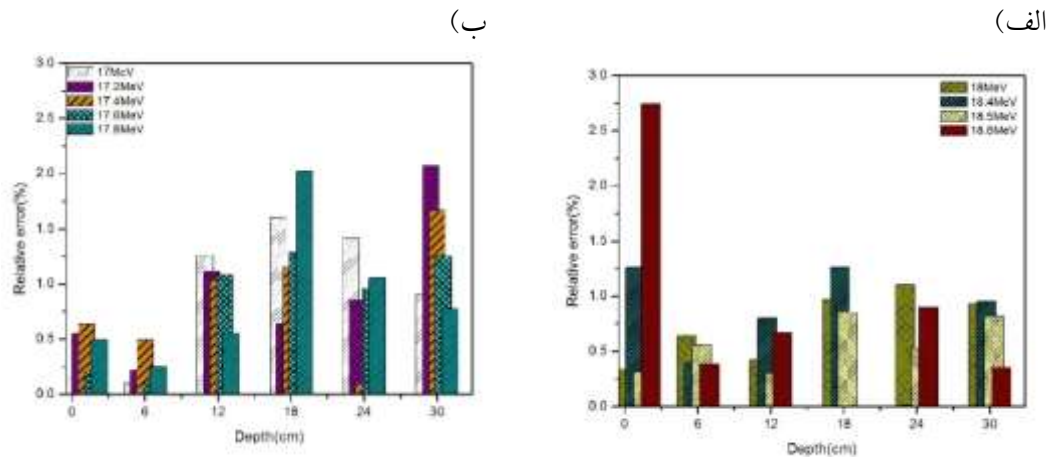
شکل (۲) مقایسه‌ی درصد دز عمقی محاسبه شده را با داده‌های تجربی به ازاء مقادیر مختلف انرژی باریکه از ۱۷ تا ۱۸٫۶ MeV با گام‌های ۰٫۲ MeV و پهنای باریکه‌ی ثابت ۰٫۱ cm نشان می‌دهد.



شکل (۲) مقایسه‌ی نتایج درصد دز عمقی محاسبه شده به ازاء انرژی‌های مختلف باریکه‌ی الکترون فرودی با داده‌های تجربی



شکل (۳) درصد اختلاف نسبی بین داده‌ها را برای هر انرژی در عمق‌های مختلف نشان می‌دهد، که با توجه به آن باریکه‌ی با انرژی 18.5 MeV کمترین درصد اختلاف نسبی را در اکثر عمق‌های مورد بررسی نتیجه می‌دهد.



شکل (۳) درصد اختلاف نسبی برای بازه‌های انرژی الف) $18-18.6 \text{ MeV}$ ب) $17-17.8 \text{ MeV}$

در جدول (۱) گزارشی از میزان درصد اختلاف نسبی در عمق‌های مختلف برای هر انرژی ارائه شده است.

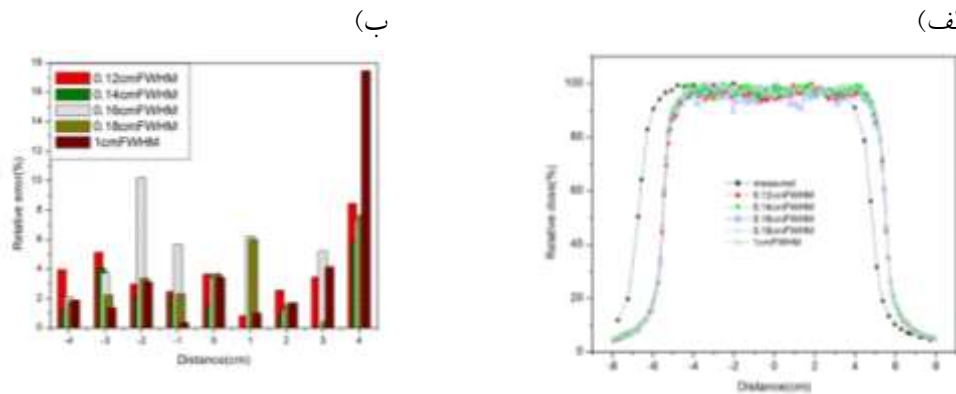
جدول (۱) درصد اختلاف نسبی درصد دز عمقی برای انرژی‌های مختلف.

| انرژی (MeV) | ۱۷ | ۱۷.۲ | ۱۷.۴ | ۱۷.۶ | ۱۷.۸ | ۱۸ | ۱۸.۴ | ۱۸.۵ | ۱۸.۶ |
|-------------|------|-----------|------|-------|------|-----|------|-------|------|
| عمق (cm) | درصد | خطای نسبی | | | | | | | |
| ۰.۳ | ۳.۷ | ۶ | ۳.۵ | ۶.۳ | ۵.۱ | ۵.۱ | ۴.۵ | ۰.۶ | ۲ |
| ۰.۶ | ۱.۹ | ۳.۶ | ۲.۸ | ۳.۱ | ۲.۱ | ۱.۷ | ۱.۷ | ۱.۶ | ۲.۶ |
| ۲.۱ | ۰.۹ | ۰.۲ | ۰.۸ | ۰.۰۰۶ | ۰.۲ | ۰.۲ | ۰.۶ | ۰.۳ | ۰.۲ |
| ۹ | ۰.۳ | ۰.۳ | ۰.۱ | ۰.۴ | ۰.۱ | ۰.۴ | ۱.۰۸ | ۰.۰۰۸ | ۰.۹ |
| ۱۵ | ۰.۷ | ۰.۶ | ۰.۲ | ۰.۲ | ۰.۵ | ۰.۷ | ۰.۵ | ۰.۲ | ۰.۴ |
| ۲۱ | ۱.۷ | ۱.۱۲ | ۰.۹ | ۰.۵ | ۰.۷ | ۰.۳ | ۱.۱۹ | ۰.۰۶ | ۱.۲ |
| ۲۷ | ۱.۴ | ۰.۶ | ۱.۶ | ۱.۰ | ۰.۰۹ | ۰.۴ | ۰.۹ | ۰.۰۳ | ۰.۱ |

در شکل (۴-الف) درصد دز پروفایل اندازه‌گیری شده در عمق ثابت 15 cm با مقادیر محاسبه شده به ازاء انرژی باریکه‌ی ثابت 18.5 MeV و مقادیر مختلف FWHM از 0.11 cm تا 0.18 cm با گام‌های 0.02 cm با هم مقایسه شده است. شکل (۴-ب) درصد اختلاف نسبی محاسبه شده در فواصل مختلف از محور مرکزی را برای مقادیر مختلف



FWHM نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که به ازاء FWHM برابر ۰٫۱۴ cm کمترین درصد اختلاف نسبی را در اکثر فواصل می‌توان مشاهده کرد.



شکل (۴) الف) مقایسه نتایج داده‌های تجربی و محاسبات مونت کارلو درصد دز پروفایل، به ازاء مقادیر مختلف FWHM (ب) اختلاف نسبی درصد دز پروفایل.

جدول (۲) میزان دز جذبی را در عمق‌های مختلف به ازاء انرژی ۱۸ MeV (انرژی اسمی دستگاه) و ۱۸٫۵ MeV (انرژی منطبق بر داده‌های تجربی) ارائه می‌دهد.

جدول (۲) دز جذبی (Gy) در عمق‌های مختلف فانتوم برای باریکه‌ی با انرژی ۱۸ MeV و ۱۸٫۵ MeV.

| دز جذبی (Gy) | | | | | |
|--------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| انرژی (MeV) | عمق (cm) | | | | |
| | ۳۰ | ۲۴ | ۱۵ | ۶ | ۱٫۲ |
| ۱۸ | $2,10 \times 71^{-16}$ | $3,10 \times 48^{-16}$ | $5,10 \times 0,8^{-16}$ | $7,10 \times 32^{-16}$ | $6,10 \times 67^{-16}$ |
| ۱۸٫۵ | $2,10 \times 76^{-16}$ | $3,10 \times 58^{-16}$ | $5,10 \times 19^{-16}$ | $7,10 \times 45^{-16}$ | $6,10 \times 17^{-16}$ |

بحث و نتیجه گیری:

نتایج جدول (۱) و شکل (۳) نشان می‌دهد که درصد دز عمقی با افزایش انرژی باریکه‌ی الکترونی، به‌خصوص در عمق‌های بالاتر از عمق مرجع افزایش می‌یابد. براساس درصد اختلاف نسبی محاسبه شده، بهینه مقدار انرژی که به ازاء



آن بهترین تطبیق بین داده‌های تجربی و محاسباتی درصد دز عمقی حاصل می‌شود برابر $18/5 \text{ MeV}$ می‌باشد، که حدود $0/5 \text{ MeV}$ با انرژی معرفی شده برای دستگاه اختلاف دارد با توجه به جدول (۲) میزان دز جذبی به ازاء باریکه‌ی $18/5 \text{ MeV}$ در عمق‌های مختلف بیشتر از باریکه‌ی 18 MeV می‌باشد. نتایج مقایسه‌های شکل (۴) نشان می‌دهد که برای باریکه‌ای با انرژی ثابت $18/5 \text{ MeV}$ به ازاء FWHM برابر $0/14 \text{ cm}$ بهترین تطابق با نتایج تجربی حاصل می‌شود. به طوری که اختلاف نسبی بین نتایج محاسباتی و تجربی در تمام فاصله‌ها کمتر از 10% است. همچنین نمودار درصد دز پروفایل به ازاء مقادیر مختلف FWHM نشان می‌دهد زمانی که مقادیر FWHM از مقدار $0/14 \text{ cm}$ فاصله می‌گیرد اختلاف بین نتایج محاسبات و داده‌های اندازه‌گیری تجربی افزایش می‌یابد اما روند افزایش یا کاهش دقیقی را نمی‌توان مشاهده کرد، از این رو مقدار بهینه FWHM برابر با $0/14 \text{ cm}$ می‌باشد. آنچه که از نتایج به وضوح می‌توان استنباط کرد وابستگی درصد دز عمقی و دز پروفایل به پارامترهای انرژی باریکه و پهنای آن می‌باشد. این وابستگی الزام تعیین این پارامترها را برای شتابدهنده نشان می‌دهد.

مراجع:

- [1] Popa, R., Dumitrache, M., & Ciovliva, A. A comparative study on 6 mV photon beam percentage depth dose of VARIAN clinac 2300 C/D, ELEKTA synergy platform, and Siemens primus linacs. *Romanian Reports in Physics*, 64(4), 997-1010 (2012).
- [2] Andreo, Pedro. Monte Carlo simulations in radiotherapy dosimetry. *Radiation Oncology*, 13(1), 121 (2018).
- [3] Waters, Laurie S. MCNPX user's manual. Los Alamos National Laboratory, (2002).
- [4] Mahmoudi, G., Shokrani, P., Amouheidari, A., & Atarod, M. Investigation of factors influencing the accuracy of Monte Carlo simulation of a Siemens linear accelerator. *Journal of Radiobiology*, 2(2) (2015).
- [5] Lin, S. Y., Chu, T. C., & Lin, J. P. Monte Carlo simulation of a clinical linear accelerator. *Applied Radiation and Isotopes*, 55(6), 759-765 (2001).
- [6] Almberg, S. S., Frengen, J., Kylling, A., & Lindmo, T. Monte Carlo linear accelerator simulation of megavoltage photon beams: independent determination of initial beam parameters. *Medical physics*, 39(1), 40-47 (2012).
- [7] Sheikh-Bagheri, Daryoush, & Rogers, DWO. Sensitivity of megavoltage photon beam Monte Carlo simulations to electron beam and other parameters. *Medical physics*, 29(3), 379-390 (2002).
- [8] Tzedakis, A., Damilakis, J. E., Mazonakis, M., Stratakis, J., Varveris, H., & Gourtsoyiannis, N. Influence of initial electron beam parameters on Monte Carlo calculated absorbed dose distributions for radiotherapy photon beams. *Medical physics*, 31(4), 907-913 (2004).



- [9] Beigi, M., Afarande, F., & Ghiasi, H. Safe bunker designing for the 18 MV Varian 2100 Clinac: a comparison between Monte Carlo simulations based upon data and new protocol recommendations. *Reports of Practical Oncology & Radiotherapy*, 21(1), 42-49 (2016).
- [10] Allahverdi, M., Zabihzadeh, M., Ay, M. R., Mahdavi, S. R., Shahriari, M., Mesbahi, A., & Alijanzadeh, H. Monte Carlo estimation of electron contamination in a 18 MV clinical photon beam. *International Journal of Radiation Research*, 9(1), 15 (2011).
- [11] Park, H., Choi, H. J., Kim, J. I., & Min, C. H. Analysis of Dose Distribution According to the Initial Electron Beam of the Linear Accelerator: A Monte Carlo Study. *Journal of Radiation Protection and Research*, 43(1), 10-19 (2018).