



انجمن حفاظت در برابر اشعه ایران

## مقاله کنفرانسی



مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان (ویژه نامه) ۱۴۰۱، صفحه ۲۱۹-۲۲۳

ششمین کنفرانس سنجش و ایمنی پرتوهای یون ساز و غیر یون ساز (مرداد ماه ۱۴۰۰)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸

# مطالعه اثر حذف فیلتر مسطح کننده شتاب دهنده ۱۵ MV بر دز ناشی از فوتونوترون

نجمه محمدی\*

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران.

\*تبریز، دانشگاه صنعتی سهند، گروه فیزیک، کدپستی: ۵۱۳۳۵-۱۹۹۶

پست الکترونیکی: n\_mohammadi@sut.ac.ir

## چکیده

در شتاب دهنده های با انرژی بیش از ۷ MV فوتونوترون ها از طریق برهم کنش فوتوهسته ای با فلزات سنگین تشکیل دهنده سر شتاب دهنده تولید می شود. فوتونوترون ها دارای اثرات بیولوژیکی مخربی نسبت به فوتون ها هستند و خطر سرطان ثانویه در اندام سالم خارج ناحیه درمان را افزایش می دهند. در این مطالعه اثر حذف فیلتر مسطح کننده بر طیف و دز فوتونوترون ناشی از شتاب دهنده خطی ۱۵ MV Siemens Primus با استفاده از کد محاسباتی مونت کارلو MCNPX۲.۶ بررسی شده است. نتایج نشان دادند با حذف فیلتر مسطح کننده، شار فوتون ها و فوتونوترون های رسیده به ایزوستر، افزایش می یابد. مقدار دز جذبی فوتون و معادل دز فوتونوترون به ازای یک الکترون فرودی به هدف سر شتاب دهنده، با حذف فیلتر مسطح کننده نسبت به حالتی که فیلتر وجود داشته باشد، افزایش می یابد. اما در این حالت، معادل دز فوتونوترون به ازای ۱ Gy دز جذبی فوتون در ایزوستر در فواصل مختلف از ایزوستر تا ۵۰٪ کاهش می یابد.

کلیدواژگان: فیلتر مسطح کننده، شتاب دهنده خطی، فوتونوترون، دزیمتری، مونت کارلو.

## ۱. مقدمه

در شتاب دهنده هایی که در ولتاژ بیش از ۷ MV کار می کنند، فوتونوترون ها از طریق برهم کنش فوتوهسته ای با فلزات سنگین تشکیل دهنده سر شتاب دهنده تولید می شوند [۱-۳]. این ذرات ثانویه موجب ذخیره دز ناخواسته ای در بدن بیمار می شود. فوتونوترون ها دارای اثرات بیولوژیکی مخربی نسبت به فوتون ها هستند و خطر سرطان ثانویه در اندام سالم خارج ناحیه درمان را افزایش می دهند [۴].

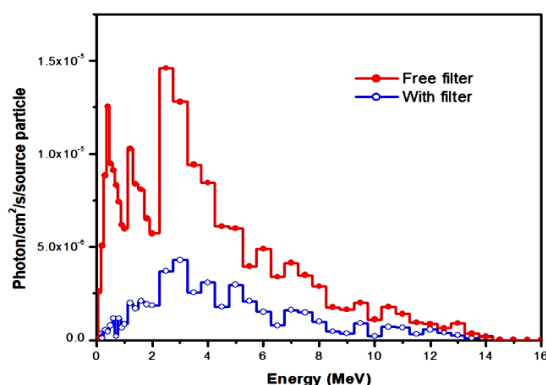
بنابراین، یک طرح درمان مناسب که بتواند دز ناخواسته و اضافی را کاهش دهد، مورد توجه انجمن های پرتودرمانی است. هم چنین اثر فیلتر مسطح کننده در شتاب دهنده هایی که در مد فوتون ۱۸ MV کار می کنند، نیز توسط محققان ارائه شده است

نسبی محاسبات کم‌تر از ۳٪ است.

### ۳. نتایج

در شکل ۱ طیف فوتون‌های رسیده به ایزوستر به ازای یک الکترون فرودی به هدف سر شتاب‌دهنده برای میدان تابشی  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  نشان داده شده است. مطابق شکل مشاهده می‌شود که حذف فیلتر مسطح‌کننده باعث افزایش شار فوتون‌های رسیده به ایزوستر می‌شود. به طوری که شار فوتون در ایزوستر بدون حضور فیلتر مسطح‌کننده نسبت به حالت با حضور فیلتر  $4/36$  برابر افزایش داشته است.

متوسط انرژی فوتون‌های رسیده به ایزوستر نیز از  $4/11 \text{ MeV}$  در حضور فیلتر به  $2/86 \text{ MeV}$  بدون حضور فیلتر کاهش یافته است. زیرا فوتون‌های کم انرژی تولید شده در سر شتاب‌دهنده با حذف فیلتر مسطح‌کننده، جذب نشده و به ایزوستر می‌رسند.



شکل (۱): طیف فوتون‌ها در ایزوستر به ازای یک ذره چشمه.

با حذف فیلتر و با افزایش شار فوتون‌های رسیده به ایزوستر، انرژی ذخیره شده ناشی از فوتون نیز افزایش خواهد یافت. به طوری که بر اساس داده‌های به دست آمده، دز جذبی فوتون با حذف فیلتر نسبت به حالت با وجود فیلتر،  $217/84\%$  افزایش نشان می‌دهد.

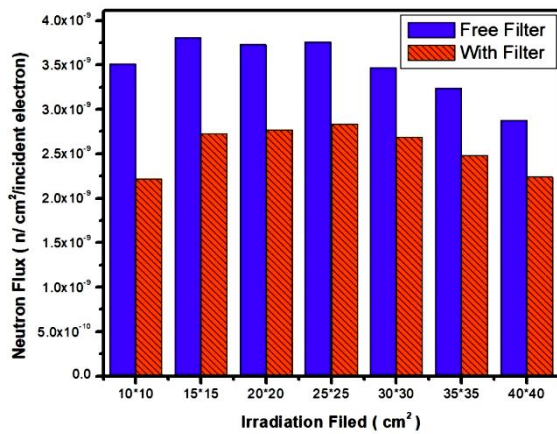
[۱۱-۱۳]. ناچم و همکارانش نیز در سال ۲۰۱۵ اثر حذف فیلتر مسطح‌کننده را در شتاب‌دهنده واریان  $15 \text{ MV}$  با استفاده از کد مونت کارلوی فلوکا تنها در ایزوستر بررسی کرده‌اند [۱۴]. هدف از این مطالعه اثر حذف فیلتر مسطح‌کننده بر طیف و دز فوتون‌ترونی ناشی از شتاب‌دهنده خطی Siemens Primus  $15 \text{ MV}$  در فواصل مختلف از ایزوستر و با استفاده از کد محاسباتی مونت کارلوی MCNPX۲.۶ است.

### ۲. روش انجام تحقیق

تمام اجزای سر شتاب‌دهنده خطی Siemens Primus  $15 \text{ MV}$  با استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX۲.۶ به طور دقیق شبیه‌سازی شده است. اجزای تشکیل دهنده عبارتند از هدف (طلا)، کولیماتور اولیه (تنگستن)، جاذب (آلومینیوم)، فیلتر مسطح‌کننده (فولاد ضد زنگ) و فک‌ها (تنگستن). تأیید شبیه‌سازی انجام شده با استفاده از منحنی‌های درصد دز عمقی و بیم پروفایل در مطالعه قبلی گزارش شده است [۱۵].

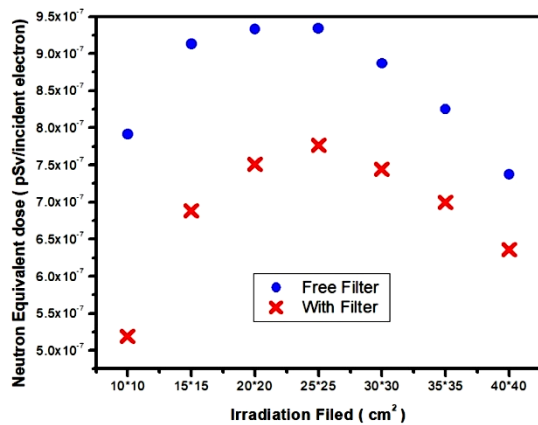
برای بررسی اثر فیلتر مسطح‌کننده بر فوتون‌ترونی تولیدی در سر شتاب‌دهنده، فیلتر مسطح‌کننده حذف و طیف فوتون و فوتون‌ترونی‌های رسیده به ایزوستر (فاصله  $100 \text{ cm}$  از هدف سر شتاب‌دهنده) در کره‌ای به شعاع  $5 \text{ cm}$  و حاوی هوا با استفاده از تالی F4 برای میدان تابشی  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  محاسبه شده است.

دز جذبی فوتون و نوترون نیز با استفاده از تالی F6 در ایزوستر محاسبه شده است. برای محاسبات نوترونی، انرژی قطع الکترون و فوتون  $7 \text{ MeV}$ ، انرژی آستانه برهم‌کنش فوتو هسته‌ای، در نظر گرفته شده است. محاسبات به ازای ۲ میلیارد الکترون تولیدی در سر شتاب‌دهنده انجام شده و خطای



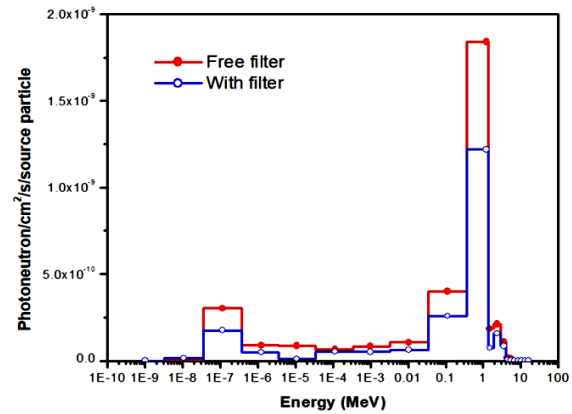
شکل (۳): شار کل فوتونوترون‌ها در ایزوستر به‌ازای یک ذره چشمه.

معادل دز فوتونوترون‌های تولیدی نیز با استفاده از ضرایب شار به دز NCRP 38، تالی F4 و کارت DE و DF محاسبه شده است. نتایج به‌دست آمده برای معادل دز فوتونوترون به ازای یک ذره گسیلی از چشمه در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل (۴): معادل دز فوتونوترون در ایزوستر به‌ازای یک ذره چشمه.

ملاحظه می‌شود که مقدار معادل دز فوتونوترون در حالت بدون فیلتر مسطح‌کننده بیش از مقادیر مربوط به حالت با حضور فیلتر است. ملاحظه می‌شود که روند تغییرات مشابه شار کل فوتونوترون‌های تولید شده است. با افزایش اندازه میدان تابشی، مقدار افزایش معادل دز فوتونوترون از ۵۲/۴۱٪ به ۱۵/۸۸٪ به‌ترتیب برای میدان‌های تابشی ۱۰ × ۱۰ cm<sup>۲</sup> و ۴۰ × ۴۰ cm<sup>۲</sup> کاهش یافته است.



شکل (۲): طیف فوتونوترون‌ها در ایزوستر به‌ازای یک ذره چشمه.

طیف فوتونوترون به‌دست آمده با حضور و بدون فیلتر مسطح‌کننده برای میدان تابشی ۱۰ × ۱۰ cm<sup>۲</sup> نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، انرژی قله مربوط به فوتونوترون‌های تولیدی بدون تغییر می‌ماند. اما تعداد فوتونوترون‌های تولیدی با حذف فیلتر مسطح‌کننده افزایش می‌یابد.

تعداد فوتونوترون‌های تولیدی به تعداد برهم‌کنش‌های فوتون با فلزات سنگین بستگی دارد. با حذف فیلتر مسطح‌کننده، تعداد این برهم‌کنش‌ها و در نتیجه شار فوتونوترون‌های تولیدی به ازای یک الکترون فرودی افزایش یافته است.

در شکل ۳ شار کل فوتونوترون‌ها در ایزوستر به ازای یک الکترون فرودی به هدف، برای میدان‌های تابشی مختلف رسم شده است. نتایج نشان می‌دهد که میزان افزایش شار فوتونوترون‌ها بدون حضور فیلتر با مقدار ۵۸/۱۱٪ برای میدان تابشی ۱۰ × ۱۰ cm<sup>۲</sup> بیش از سایر میدان‌های تابشی است.

با بزرگ شدن میدان تابشی، میزان افزایش شار فوتونوترون کاهش می‌یابد، به طوری که از افزایش ۳۹/۵۶٪ برای میدان تابشی ۱۵ × ۱۵ cm<sup>۲</sup> به مقدار ۲۸/۵۷٪ برای میدان تابشی ۴۰ × ۴۰ cm<sup>۲</sup> می‌رسد.

معادل دز فوتونوترون به ازای ۱ Gy دز جذبی فوتون در هدف مورد درمان، که در ایزوستتر قرار می‌گیرد، برای میدان تابشی  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  و در فواصل مختلف از ایزوستتر در شکل ۶ نمایش داده شده‌است. ملاحظه می‌گردد که این کمیت بدون حضور فیلتر نسبت به حالت با وجود فیلتر کاهش یافته‌است. زیرا همان‌طور که قبلاً نشان داده شد، مقدار دز جذبی فوتون در ایزوستتر بدون وجود فیلتر مسطح کننده افزایش می‌یابد.

بنابراین، معادل دز فوتونوترون به ازای ۱ Gy دز جذبی فوتون در ایزوستتر، در همه فواصل مختلف از ایزوستتر با حذف فیلتر مسطح کننده تا ۵۰٪ نسبت به حالتی که فیلتر حضور داشته باشد، کاهش می‌یابد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان دادند که مقدار دز جذبی فوتون در ایزوستتر برای میدان تابشی  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ، به ازای یک الکترون فرودی به هدف سر شتاب‌دهنده، با حذف فیلتر مسطح‌کننده نسبت به وقتی که فیلتر وجود داشته باشد ۲۱۷/۸۴٪ افزایش می‌یابد.

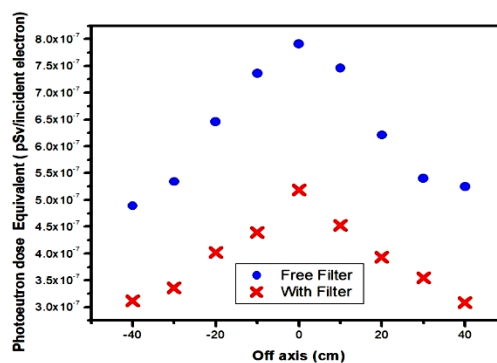
حذف فیلتر مسطح‌کننده، مقدار شار کل فوتونوترون‌ها و معادل دز فوتونوترون به‌ازای یک الکترون فرودی به هدف سر شتاب‌دهنده، در ایزوستتر و فواصل مختلف از آن را افزایش می‌دهد. اما معادل دز فوتونوترون به‌ازای ۱ Gy دز جذبی فوتون در فواصل مختلف از ایزوستتر تا ۵۰٪ کاهش می‌یابد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، کاهش چشمگیری از معادل دز فوتونوترون رسیده به بیمار تحت پرتودرمانی بدون فیلتر مسطح کننده به ازای ۱ Gy دز جذبی در اندام داخل و خارج میدان تابشی به‌دست خواهد آمد.

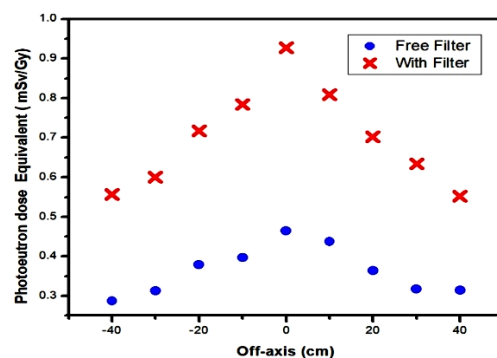
به دلیل پراکندگی‌های مختلفی که برای فوتونوترون‌ها در سر شتاب‌دهنده رخ می‌دهد در خارج از میدان تابشی نیز مقدار دز ناشی از آن قابل نظر کردن نیست. بنابراین، در اندام سالم خارج از میدان تابشی بیمار تحت پرتودرمانی نیز دز ناشی فوتونوترون ذخیره می‌شود.

در شکل ۵، معادل دز فوتونوترون در میدان تابشی  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  برای فواصل مختلف از ایزوستتر به ازای یک الکترون فرودی به هدف، رسم شده‌است. مشاهده می‌شود که همانند معادل دز فوتونوترون در ایزوستتر، مقدار این کمیت در خارج از میدان تابشی بدون حضور فیلتر نسبت به حالت با وجود فیلتر افزایش یافته‌است.

میزان افزایش معادل دز فوتونوترون تا حداکثر فاصله ۴۰ cm نسبت به محور مرکزی عبوری از ایزوستتر، در محدوده ۷۰٪ - ۵۰٪ می‌باشد. به‌طوری‌که میزان افزایش معادل دز فوتونوترون در خارج از میدان تابشی بیش از ایزوستتر است.



شکل (۵): معادل دز فوتونوترون در فواصل مختلف از ایزوستتر به‌ازای یک ذره چشمه.



شکل (۶): معادل دز فوتونوترون در فواصل مختلف از ایزوستتر به‌ازای ۱ Gy دز جذبی فوتون در ایزوستتر.

فوتونوترون‌ها، در هدف مورد درمان و بافت‌های سالم اطراف آن خواهد بود.

بنابراین، طراحی درمان بدون فیلتر مسطح‌کننده، یک روش مناسب برای کاهش ریسک سرطان ثانویه به‌دلیل تولید

## ۵. مراجع

1. S. F. Kry, B. Bednarz, R. M. Howell, L. Dauer, D. Followill, E. Klein, H. Paganetti, B. Wang, C.-S. Wu, X. G. Xu. AAPM TG 158: measurement and calculation of doses outside the treated volume from external-beam radiation therapy. *Med. Phys.* 44 (2017) 391-429.
2. W. D. Newhauser, M. Durante. Assessing the risk of second malignancies after modern radiotherapy. *Nature Rev. Cancer.* 11 (2011) 438-448.
3. S. F. Kry, M. Salehpour, D. Followill, M. Stovall, D. Kuban, R. A. White, I. I. Rosen. The calculated risk of fatal secondary malignancies from intensity-modulated radiation therapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Bio. Phys.* 62 (2005) 1195-1203.
4. S. F. Kry, R. M. Howell, U. Titt, M. Salehpour, R. Mohan, O.N. Vassiliev. Energy spectra, sources, and shielding considerations for neutrons generated by a flattening filter-free Clinac. *Med. Phys.* 35 (2008) 1906-1911.
5. L. Montgomery, M. Evans, L. Liang, R. Maglieri, J. Kildea. The effect of the flattening filter on photoneutron production at 10 MV in the Varian TrueBeam linear accelerator. *Med. Phys.* 45 (2018) 4711-4719.
6. D. Georg, T. Knoos, B. McClean, Current status and future perspective of flattening filter free photon beams. *Med. Phys.* 38 (2011) 1280-1293.
7. R. Delany, G. S. JTudor, A relative comparison of neutron production between conventional and energy-matched flattening-filter-free(FFF)10MV modes for an Elekta linear accelerator. *Biomed. Phys. Eng. Express* 5 (2019) 1-5.
8. S. Yani, I. Budiansah, F. Puspa Lestari, R. Tursinah, M. Fahdillah Rhani, F. Haryanto, Investigation of Neutron Contamination of Flattening Filter and Flattening Filter-Free 10-MV Photon Beams in Elekta Infinity TM Accelerator. *Iran. J. Med. Phys.* 17 (2020) 126-132.
9. L. Montgomery, M. Evans, L. Liang, R. Maglieri, J. Kildea. The effect of the flattening filter on photoneutron production at 10 MV in the Varian True Beam linear accelerator. *Med. Phys.* 45 (2018) 4711-4719.
10. S. Dawna, R. Pala, A. K. Bakshia, R. A. Kinhikarb, K. Joshic, S. V. Jamemac, A. Haneefad, T. Palani Selvama, D. D. Deshpandeb, D. Dattaa. Evaluation of in-field neutron production for medical LINACs with and without flattening filter for various beam parameters-Experiment and Monte Carlo simulation. *Radiat. Measurements* 118 (2018) 98-107.
11. S. F. Kry, U. Titt, F. Pönisch, O. N. Vassiliev, M. Salehpour, M. Gillin, R. Mohan. Reduced neutron production through use of a flattening-filter-free accelerator. *Int. J. Radiat. Oncol. Bio. Phys.* 68 (2007) 1260-1264.
12. S. F. Kry, R. M. Howell, U. Titt, M. Salehpour, R. Mohan, O. N. Vassiliev. Energy spectra, sources, and shielding considerations for neutrons generated by a flattening filter-free Clinac. *Med. Phys.* 35 (2008) 1906-1911.
13. M. Ashrafinia, A. Hadadi, D. Sardari, E. Saeedzadeh. Investigation of LINAC Structural Effects on Photoneutron Specified Parameters Using FLUKA code. *Iran. J. Med. Phys.* 17 (2020) 7-14.
14. M. A. Najem, F. A. Abolaban, Z. Podolyak, N. M. Spyrou. Neutron production from flattening filter free high energy medical linac: A Monte Carlo study. *Radiat. Phys. Chem.* 116 (2015) 176-180.
15. N. Mohammadi, S. H. Miri-hakimabad, L. Rafat, F. Akbari, S. Abdollahi. Neutron spectrometry and determination of neutron contamination around the 15 MV Siemens Primus LINAC. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 304 (2015) 1001-1008.