



## تعیین میزان فاکتور پراکندگی فانتوم با استفاده از شبیه سازی کد MCNP و راستی آزمایی با اندازه گیری تجربی

صدریه خواجه، غزاله<sup>(۱)</sup> - صالحی باروق، مهدی\*<sup>(۲)</sup>

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، دانشکده فنی و مهندسی آیت الله هاشمی رفسنجانی، گروه

مهندسی هسته ای

### چکیده:

این موضوع از این رو مورد اهمیت قرار گرفته که از طریق شبیه سازی به صورت کاملاً مستقل، فاکتور پراکندگی فانتوم را که به صورت واقعی قادر به اندازه گیری آن نیستند به دست آورد. در این بررسی از کد محاسباتی MCNPX به منظور شبیه سازی شتاب دهنده خطی زمینس برای تعیین میزان فاکتور پراکندگی استفاده شده است. برای میدان  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  فاکتورها  $S_c = 0.18907$  و  $S_p = 0.9398$  و  $S_{c,p} = 0.18370$  و برای میدان  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  فاکتورها  $S_c = 1/0.259$  و  $S_p = 1/0.230$  و  $S_{c,p} = 1/0.494$  با انرژی ۶ مگا الکترون ولت می باشد. در میدان های کوچک تر از  $5 \times 5$  سانتی متر مربع به علت بهم خوردن تعادل الکترونی افت شدیدی در فاکتورهای پراکندگی ایجاد می شود.

کلمات کلیدی: شتابدهنده خطی، دزیمتری، فاکتور پراکندگی فانتوم، کد شبیه سازی MCNPX

### مقدمه :

در دهه های اخیر، کدهای مختلفی همچون کدهای مونت کارلو زیادی برای کاربردهای پزشکی و تحقیقاتی در جهت بهبود و دقت درمان مطرح شده اند [۱]. یکی از ویژگی های این روش، محاسبه کامل تراپرد ذره تولید شده در شتابدهنده خطی با جزئیات دقیق است. این تکنیک های مونت کارلو، در زمینه فیزیک پزشکی و درمان از اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی آغاز شد [۲].

در باریکه های فوتونی مگا الکترون ولت (MeV)، کل پراکندگی در یک نقطه به طور مرتب به صورت پراکندگی فانتوم و سر دستگاه (کولیماتور) جدا می شود [۳]، که در وهله اول برای محاسبه دز در میدان های نامنظم است. گاسترن و همکاران [۴] اولین کسانی بودند که این کار را با تعریف فاکتورهای کل ( $S_{c,p}$ )، فانتوم ( $S_p$ ) و پراکندگی سر دستگاه ( $S_c$ ) انجام دادند که همگی به میدان مرجع  $10 \times 10$  سانتی متر مربع نرمالیزه شده و توسط رابطه (۱) به هم مرتبط شدند:

$$S_{c,p} = S_c \times S_p \quad (1)$$



هدف از انجام شبیه سازی فاکتور پراکندگی فانتوم این است که بتوان فاکتور پراکندگی فانتوم را به صورت کاملاً مستقل به دست آورد این در حالیست که فاکتور پراکندگی فانتوم را در واقعیت به صورت مستقل نمی توان اندازه گیری نمود پس از به دست آوردن مقادیر شبیه سازی شده آن ها را با مقدار به دست آمده از طریق رابطه (۱) مقایسه کرده تا مورد قبول بودن آن بررسی شود و در صورت قابل قبول بودن بتوان در فرآیندهای درمانی از آن استفاده کرد.

### روش کار :

میدان های مورد مطالعه شامل  $1 \times 1$ ،  $2 \times 2$ ،  $3 \times 3$ ،  $4 \times 4$ ،  $5 \times 5$ ،  $8 \times 8$ ،  $10 \times 10$ ،  $15 \times 15$ ،  $20 \times 20$ ،  $30 \times 30$ ،  $40 \times 40$  سانتی متر مربع که با استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX شبیه سازی شده اند و با جا به جا کردن فک های کولیماتور ثانویه میدان های مذکور مورد بررسی قرار گرفتند. برای اندازه گیری هر یک از فاکتورهای مربوطه شرایطی اعمال شده که به شرح زیر است:

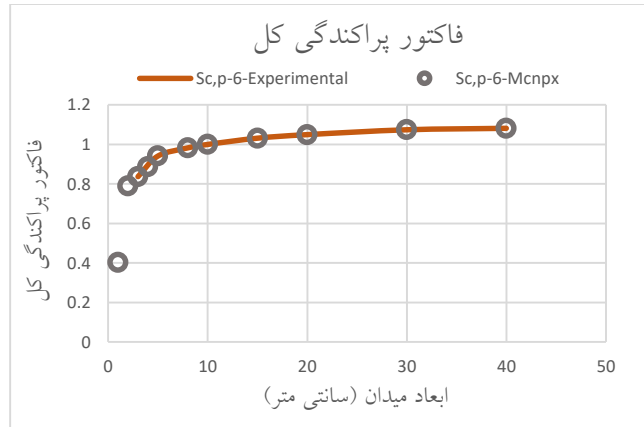
فاکتور پراکندگی کولیماتور: برای انرژی ۶ مگا الکترون ولت بیلد آپ کپ (build-up cap) به ضخامت  $1/5$  سانتی متر شبیه سازی و دز در فاصله ۱۰۰ سانتی متری در هوا (SAD) اندازه گیری شد.

فاکتور پراکندگی کل: برای انرژی ۶ مگا الکترون ولت، دز در نقطه  $1/6$  سانتی متری از سطح فانتوم اندازه گیری شد. فاکتور پراکندگی فانتوم: همانند فاکتور پراکندگی کل می باشد با این تفاوت که پرتو در هنگام عبور از کولیماتور ثانویه پراکندگی الکترونی نداشته باشد یعنی در هنگام شبیه سازی اهمیت الکترون در فک های کولیماتور ثانویه صفر در نظر گرفته شده و دز در همان نقاط گفته شده در فاکتور پراکندگی کل اندازه گیری شده است.

داده های تجربی از مقادیر آماده و موجود در بخش رادیوتراپی بیمارستان پارس استخراج شده که تحت عنوان نتایج تجربی در این مقاله استفاده شده است.

### نتایج :

بعد از انجام مراحل شبیه سازی، نتایج حاصل از شبیه سازی کد MCNPX که با استفاده از تالی F8\* در هوا و فانتوم آب به دست آمده بودند، نسبت به میدان  $10 \times 10$  سانتی متر مربع نرمالیزه گشته به این ترتیب داده های به دست آمده دارای مقداری بدون بعد شده اند. نتایج داده ها فاکتور پراکندگی کل در نمودار (۱) نشان داده شده است.

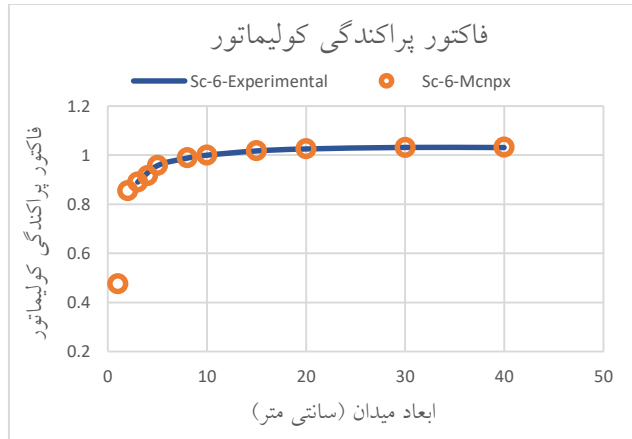


نمودار ۱- فاکتور پراکندگی کل برای انرژی ۶ مگا الکترون ولت

همانطور که در نمودار (۱) دیده می شود مقادیر شبیه سازی شده توسط کد MCNPX کاملاً روی نمودار داده های تجربی فاکتور پراکندگی کل منطبق شده اند. هرچه میدان اندازه گیری کوچکتر شود نمودار شیب ملایم نزولی را طی می کند. جدول (۱) درصد خطاهای بین مقادیر تجربی و شبیه سازی فاکتور پراکندگی کل را در میدان های ۳×۳، ۵×۵، ۸×۸، ۱۰×۱۰، ۱۵×۱۵، ۲۰×۲۰، ۳۰×۳۰ و ۴۰×۴۰ در انرژی ۶ مگا الکترون ولت را نشان می دهد. درصد خطاهای موجود بین نتایج تجربی و شبیه سازی همگی زیر ۱/۱٪ می باشد. جدول ۱- درصد خطاهای موجود بین مقادیر تجربی و شبیه سازی فاکتور پراکندگی کل برای انرژی ۶ مگا الکترون ولت

فاکتور پراکندگی کل با انرژی ۶MeV	
ابعاد میدان (cm <sup>2</sup> )	درصد خطا (%)
۳×۳	۰/۱۱۷۹
۵×۵	۱/۰۹۹۹
۸×۸	۰/۲۸۳۱
۱۰×۱۰	۰/۰۰
۱۵×۱۵	۰/۳۹۳۸
۲۰×۲۰	۰/۱۹۷۵
۳۰×۳۰	۰/۴۳۴۹
۴۰×۴۰	۰/۰۹۶۲

نمودار (۲) نتایج حاصل از شبیه سازی و نتایج تجربی فاکتور پراکندگی کولیماتور را نشان می دهد.



نمودار ۲- فاکتور پراکندگی کولیماتور برای انرژی ۶ مگا الکترون ولت

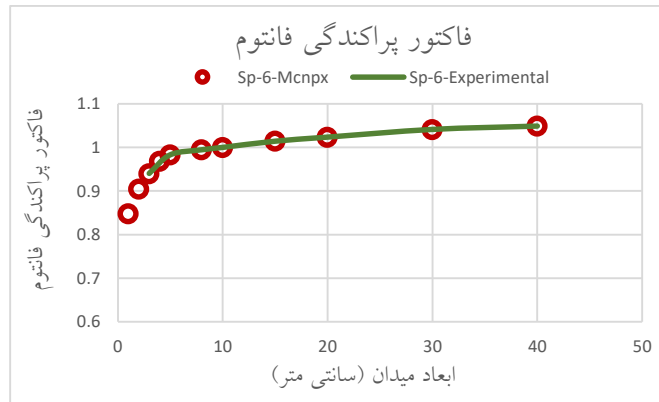
در نمودار (۲) به علت وجود بیلدآپ کپ در میدان های خیلی کوچک به ویژه میدان  $1 \times 1$  سانتی متر مربع قادر به اندازه گیری دقیق تجربی نبوده و به کمک شبیه سازی توانسته اندازه موجود را استخراج کرده که در نمودار (۲) روند آن مشاهده می شود. همانطور که در نمودار (۲) دیده می شود مقادیر شبیه سازی شده توسط کد MCNPX کاملاً روی نمودار داده های تجربی فاکتور پراکندگی کولیماتور منطبق شده اند.

جدول (۲) در صد خطاهای فاکتور پراکندگی کولیماتور را در میدان هایی که در جدول (۱) هم به آن اشاره شده بود را نشان می دهد. درصد خطاهای موجود همگی زیر  $2/3\%$  می باشد.

جدول ۲- درصد خطا بین مقادیر تجربی و شبیه سازی فاکتور پراکندگی کولیماتور برای انرژی ۶ مگا الکترون ولت

فاکتور پراکندگی کولیماتور با انرژی ۶MeV	
ابعاد میدان (cm <sup>2</sup> )	درصد خطا (%)
۳×۳	۰/۱۰۴۹
۵×۵	۰/۳۷۵۹
۸×۸	۰/۶۰۷۸
۱۰×۱۰	۰/۰۰
۱۵×۱۵	۰/۴۷۲۳
۲۰×۲۰	۱/۱۴۰۸
۳۰×۳۰	۲/۲۶۲۱
۴۰×۴۰	۰/۲۲۸۳

روند تغییرات فاکتور پراکندگی فانتوم در داده های نمودار (۳) نشان داده شده است.



نمودار ۳- فاکتور پراکندگی فانتوم برای انرژی ۶ مگا الکترون ولت

همانگونه که در نمودار (۳) مشاهده می شود مقادیر شبیه سازی شده انطباق قابل قبولی بر روی نمودار داده های تجربی فاکتور پراکندگی فانتوم دارند. با توجه به آنچه که در نمودارهای (۱) و (۲) دیده شد در نمودار (۳) نیز مشاهده می شود که هرچه میدان اندازه گیری کوچکتر شود نمودار شیب ملایم نزولی را طی می کند. جدول (۳) نشان دهنده در صد خطاهای فاکتور پراکندگی فانتوم می باشد. در صد خطاهای موجود بین نتایج تجربی و شبیه سازی زیر ۱٪ می باشد.

جدول ۳- در صد خطاهای موجود بین مقادیر تجربی و شبیه سازی فاکتور پراکندگی فانتوم برای انرژی ۶ مگا الکترون ولت

فاکتور پراکندگی فانتوم با انرژی ۶MeV	
ابعاد میدان (cm <sup>۲</sup> )	در صد خطا (%)
۳×۳	۰/۶۰۳۲
۵×۵	۰/۳۴۴۳
۸×۸	۰/۰۰۶۲
۱۰×۱۰	۰/۰۰
۱۵×۱۵	۰/۱۰۹۶
۲۰×۲۰	۰/۵۹۹۳
۳۰×۳۰	۰/۰۸۱۴
۴۰×۴۰	۰/۰۸۶۴



هدف از انجام این تحقیق به دست آوردن فاکتور پراکندگی فانتوم به صورت مستقل از رابطه و با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو MCNPX بوده که بصورت تجربی بطور کاملاً مستقل قابل اندازه گیری نیست و وابسته به رابطه می باشد.

#### بحث و نتیجه گیری :

انرژی پرتوها و ابعاد میدان تابش بر میدان تغییرات  $S_p$  اثر گذار می باشد. از نمودارهای فاکتورهای پراکندگی کل، فاکتورهای پراکندگی کولیماتور و فاکتورهای پراکندگی فانتوم دریافت شد که در میدان های کوچکتر از  $3 \times 3$  سانتی متر مربع افت قابل ملاحظه ای دیده می شود که انحنای زیادی را در نمودار بر جای گذاشته است این افت ناشی از برهم خوردن تعادل الکترونی می باشد. در میدان های ( $3 \geq$  سانتی متر مربع) به علت برهم خوردن تعادل الکترونی بهتر است درمان سطحی باشد تا پراکندگی کمتری رخ دهد. هرچه درمان عمیق تر باشد میزان پراکندگی از سطح فانتوم بیشتر رخ خواهد داد.

#### مراجع :

1. Verhaegen F and Seuntjens J. Monte Carlo modelling of external radiotherapy photon beams. Phys Med Biol 2003; 48.
2. Polston. K. Gregory. A Dosimetric model for small-field Electron Radiation Therapy. Depart man of physics. Ball state university.
3. Khan. The Physics of Radiation Therapy. 5th ed. Vol. 153, JAMA: The Journal of the American Medical Association. Lippincott Williams and Wilkins; 1953.
4. van Gasteren JJM, Heukelom S, van Kleffens HJ, van der Laarse R, Venselaar JLM, and Westermann CF. The determination of phantom and collimator scatter components of the output of megavoltage photon beams: measurement of the collimator scatter part with a beam-coaxial narrow cylindrical phantom. Radiother Oncol 1991; 20:250–257.