



## بررسی تأثیر ماسک به پهنای لبه‌ی دُز حاصل از چشمه‌ی بتا

صادقی، محمد کاظم<sup>(۱)</sup> - سوهانی، مسلم<sup>(۱)</sup>\*

<sup>(۱)</sup>دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده فیزیک، گروه هسته‌ای

### چکیده:

در این تحقیق با استفاده از ابزار مونت کارلوی Geant4 مقدار پهنای لبه‌ی دُز در فرآیند کنترل پرتودهی با استفاده از ماسک بررسی شد. در این شبیه‌سازی از  $^{90}\text{Sr}$  به عنوان چشمه و یک ورقه روی به عنوان هدف پرتودهی استفاده شده است که در سه مرحله تغییرات پهنای لبه‌ی دُز براساس پارامترهای فاصله‌ی ماسک از هدف، ضخامت ماسک و شکل و اندازه‌ی چشمه حاصل شده است.

کلمات کلیدی: دُز حاصل از تابش بتا، کد Geant4، چشمه‌ی  $^{90}\text{Sr}$

### Effect of mask on dose- edge of a beta- source

Sadeghi Mohammadkazem<sup>(1)</sup>; Sohani Moslem<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Department of Physics, Shahrood University of Technology, Shahrood

### Abstract

*In this study, we investigated dose edge width (dose edge slope) for control of irradiation process using different mask and Geant4 simulation code. For this simulation  $^{90}\text{Sr}$  and Zinc sheet are used as source and target respectively. The effects of target to mask distance, mask thickness and source shape and size parameters is investigated. The minimum dose edge width is obtained using optimum thickness of Nylon mask.*

**Keyword:** Dose from the Beta Source, Geant4 code, Sr source<sup>۹۰</sup>



### مقدمه :

تابش‌های یونساز می‌توانند تغییر شدیدی در ویژگی‌های ماده ایجاد کنند؛ به ویژه یون‌های سنگین که با تکانه‌ی مناسب باعث جابه‌جایی‌های اتمی در جامدات می‌شوند [۱]. ذرات باردار یکی از موفق‌ترین ابزارهای آزمایشگاهی برای کاوش در ساختار ماده هستند. از کاربردهای این ابزار می‌توان استفاده از آن در زمینه‌های پزشکی، کشاورزی، صنعت و غیره نام برد. آزمایشات اولیه در برخورد ذرات باردار آلفا به ورقه نازک طلا، آزمایش معروف گایگر-مارسدن بود. اثرات تابش می‌تواند با اتلاف انرژی یک ذره‌ی باردار که در داخل ماده در حرکت است، ایجاد شود [۲]. ذرات بارداری که از ماده می‌گذرند، بر اثر برهم‌کنش‌های کولنی، گسیل تابش ترمزی، برهم‌کنش‌های هسته‌ای و در انرژی‌های خیلی زیاد با گسیل تابش چرنکوف انرژی از دست می‌دهند. وقتی یک ذره‌ی پر انرژی همانند الکترون یا یون به اتم‌های یک هدف برخورد می‌کند، اثرات مختلفی می‌تواند رخ دهد. اثرات این برخورد عبارتند از: برانگیختگی و یونش اتم‌ها، شکستن پیوندها، تولید فونون‌های نوسانی، جابه‌جایی اتم‌ها در هدف‌های حجیم، کندوپاش<sup>۱</sup> اتم‌ها از سطح و گسیل فوتون‌ها، برای مثال پرتوهای ایکس.

پرتوهای حاصل از چشمه‌های رادیواکتیو به علت دارا بودن انرژی و خاصیت یونسازی می‌توانند برای تابش‌دهی در موارد مختلف استفاده شوند [۳]. هنگام پرتودهی می‌توان از ماسک<sup>۲</sup> برای بهینه کردن و عدم آسیب به بقیه نقاط استفاده کرد. بطور مثال در لیتوگرافی یا هنگام درمان تومور (مثلاً استفاده از چشمه‌ی  $^{90}\text{Sr}$  برای درمان در چشم‌پزشکی [۴]) این مسئله حائز اهمیت است که میزان دُز جذب شده در ناحیه‌ی مشخصی اعمال شود. در این تحقیق پهنای لبه‌ی دُز (شیب لبه‌ی دُز<sup>۳</sup>) در یک تابش دهی با چشمه‌ی  $^{90}\text{Sr}$  با استفاده از ماسک را بررسی کرده و مقادیر بهینه براساس پارامترهای فاصله‌ی ماسک، ضخامت ماسک و نوع چشمه حاصل شد.

### روش کار:

ذرات بتا دارای طیف پیوسته‌ای از انرژی هستند که از صفر تا انرژی جنبشی بیشینه  $E_{\text{max}}$  گسترش دارد. تعداد ذرات بتا  $N(t)$ ، که از ضخامت جرمی  $t$  از ماده عبور می‌کنند با تقریب خوبی عبارت است از [۵]:

$$N(t) = N(o)e^{-\mu t} \quad (1)$$

<sup>۱</sup> Sputtering

<sup>۲</sup> Mask

<sup>۳</sup> Dose edge slope

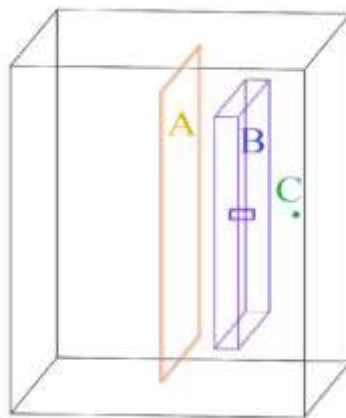
که در آن  $\mu$  ضریب ثابت جذب جرمی است. مقدار  $\mu$  به طور تجربی به صورت تابعی از انرژی بیشینه طیف بتا تعیین شده و عبارت است از [۵]:

$$\mu(\text{m}^2/\text{kg}) = 1.7E_{\text{max}}^{-1.14} \quad (2)$$

که در آن  $E_{\text{max}}$  بر حسب MeV است.

با توجه به طیف بتای  $^{90}\text{Sr}$  انرژی بیشینه الکترون‌ها ۲,۲۸۲ MeV است [۶] که بعد از جایگزینی در رابطه بالا و ضرب کردن  $\mu$  در چگالی پلاستیک مورد استفاده در جنس ماسک ضریب تضعیف طولی بدست می‌آید. از برآورد مقدار برد با معکوس ضریب تضعیف طولی، مقدار (۱,۳۲۲ mm) برای میزان برد بتا در ماسک بدست می‌آید. همچنین برد ذرات بتا به عنوان ذرات باردار، که دارای برد محدودی در ماده‌ی ماسک و بستره هستند، از رابطه‌ی نیمه تجربی  $\text{TIO}^{\text{[۶]}}$  قابل محاسبه است که به مقدار  $R=9,765(\text{mm})$  می‌رسد. در ادامه نشان داده‌ایم که نتایج حاصل از شبیه‌سازی با برد حاصل از رابطه‌ی  $\text{TIO}$  همخوانی بهتری دارد.

بر روی سطح هدف نقاطی وجود دارد که پرتو بدون برخورد به ماسک عبور کرده و به سطح هدف می‌رسد بنابراین این نقاط بیشترین دُز را جذب می‌کنند و نقاطی هم وجود دارد که حداقل میزان دُز را جذب می‌کنند، این نقاط در سایه ماسک قرار گرفته‌اند. محدوده‌ای که در آن دز از ۱۰٪ تا ۹۰٪ مقدار حداکثرش تغییر می‌کند، به عنوان پهنای لبه‌ی دُز معرفی می‌شود.

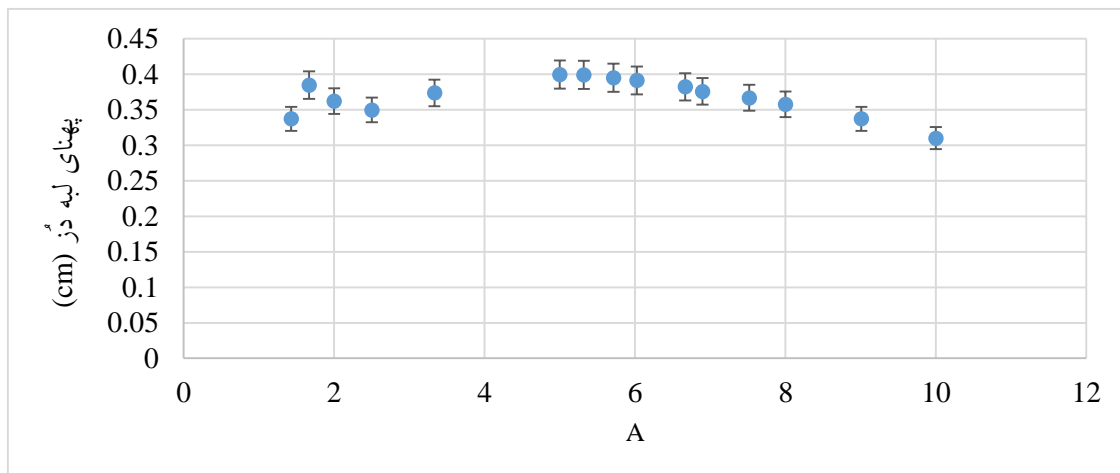


شکل ۱: نمایی از هندسه‌ی شبیه‌سازی. مکعب بزرگ جهان، چشمه (C)، صفحه‌ی قرار گرفته در وسط (A) هدف و مکعب قرار گرفته بین چشمه و هدف (B) ماسک است.

<sup>۴</sup> Tabata-Ito-Okabe



با استفاده از ابزار مونت کارلوی Geant4 سیستمی را طراحی کردیم تا بتوانیم میزان دُز جذب شده بر روی سطح را بدست آورده و سپس بتوانیم پهنای لبه‌ی دُز را محاسبه کنیم. این سیستم متشکل از یک چشمه‌ی  $^{90}\text{Sr}$  با فعالیت  $1.0\ \mu\text{Ci}$ ، یک صفحه از فلز روی و یک ماسک از جنس پلاستیک است. ابعاد جهان  $24\text{cm} \times 36\text{cm} \times 36\text{cm}$  صفحه‌ی فلز روی با ابعاد  $30\text{cm} \times 30\text{cm}$  با قطر  $13\text{mm}$  در نظر گرفته شده است که سطح حساس برای اندازه‌گیری میزان دُز  $2\ \mu\text{m} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$  از وسط هدف است. فیزیک استفاده شده فیزیک پیش فرض کد شامل الکترومغناطیس و واپاشی‌ها است. ابعاد ماسک  $24\text{cm} \times 24\text{cm}$  به ضخامت  $4\text{mm}$  است که در یکی از حالت‌های شبیه‌سازی این ضخامت متغییر بوده و جنس ماسک را با توجه به کتابخانه‌ی ابزار مونت کارلوی Geant4 پلاستیک 6-6 Nylon با چگالی  $1140\ (\text{kg}/\text{m}^3)$  در نظر گرفتیم. حفره مربع شکل در وسط ماسک به ضلع  $1\text{cm}$  در نظر گرفته شده است. همچنین مکان چشمه در فاصله  $10\text{cm}$  از صفحه‌ی روی است. شبیه‌سازی‌ها را با سه دیدگاه متفاوت انجام دادیم. در حالت اول با تغییر فاصله‌ی ماسک از چشمه پهنای لبه‌ی دُز را مورد بررسی قرار دادیم، در حالت دوم با تغییر ضخامت ماسک رفتار پهنای لبه‌ی دُز را بررسی کردیم و در حالت سوم نیز مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از چشمه‌ی نقطه‌ای با چشمه‌های مسطح انجام شد. در تمامی مراحل زمان پرتودهی به هدف معادل پرتودهی به مدت  $15$  دقیقه بوده است. برای بررسی ساده‌تر، با توجه به شکل شماره ۱ میزان فاصله‌ی چشمه تا هدف به فاصله‌ی ماسک تا هدف پارامتر A نام‌گذاری شد. پس از آنالیز داده‌های بدست‌آمده از ابزار مونت کارلوی Geant4، لبه‌ی دُز حاصله روی هدف محاسبه شده و نمودار زیر بدست آمد. با توجه به شکل ۲ نمودار بدست آمده نشان می‌دهد هنگامی که میزان فاصله‌ی چشمه تا هدف ۴ الی ۶ برابر فاصله‌ی ماسک تا هدف باشد مقدار پهنای لبه‌ی دُز بیشترین مقدار را دارد. همچنین کمترین مقدار پهنای لبه‌ی دُز زمانی اتفاق می‌افتد که چشمه از ماسک بیشترین فاصله‌ی ممکنه را داشته باشد.

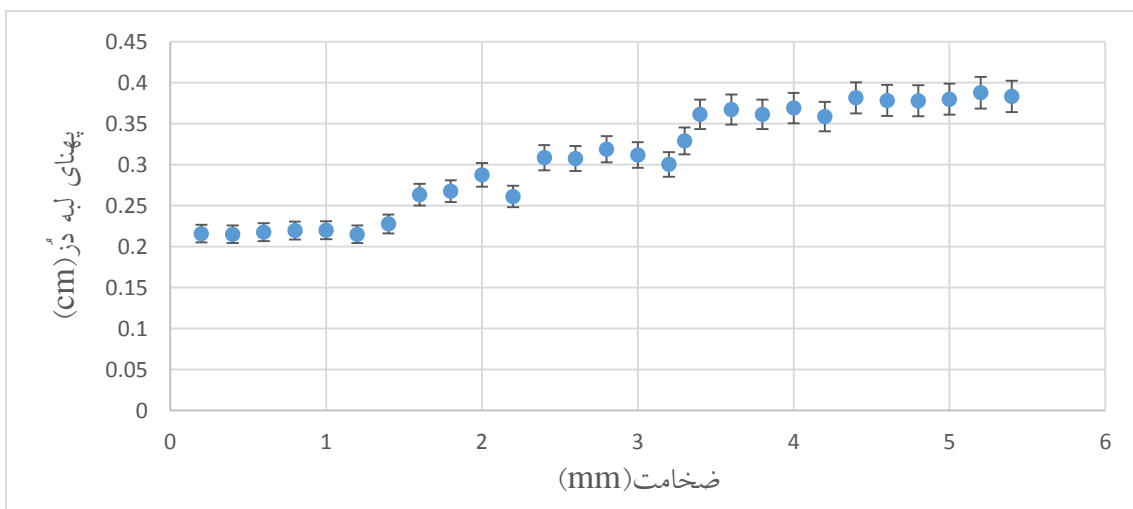




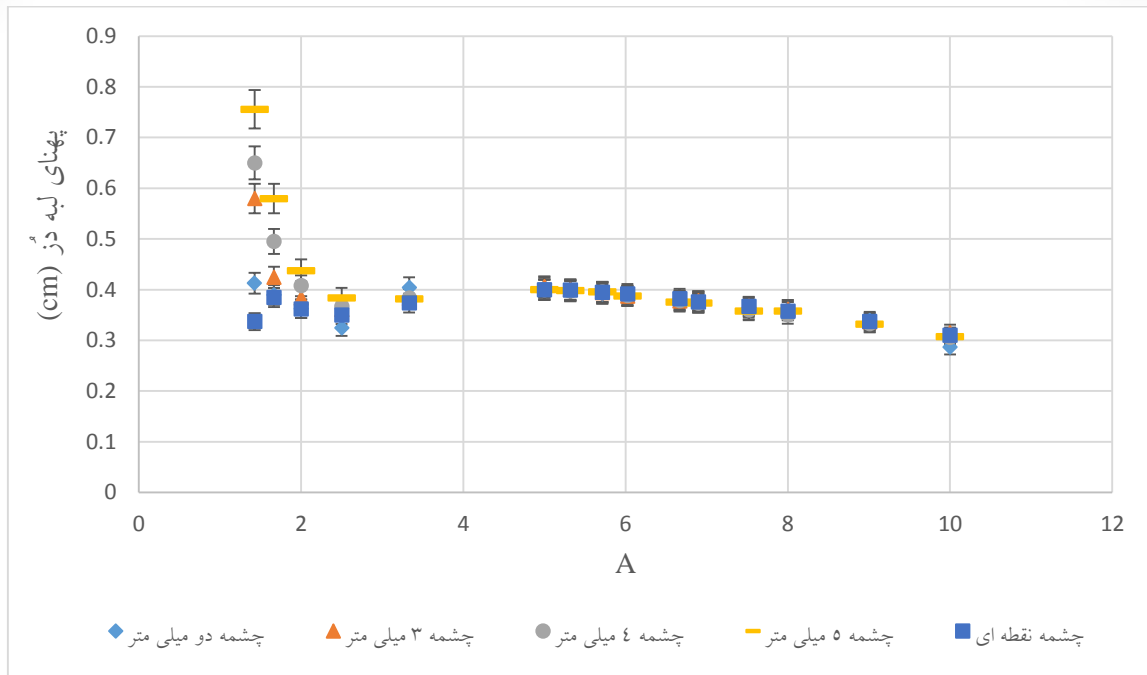
شکل ۲: میزان پهنای لبه‌ی دُز به پارامتر  $A$ . پارامتر  $A$  نسبت میزان فاصله‌ی چشمه تا هدف به فاصله‌ی ماسک تا هدف است. چشمه‌ی نقطه‌ای در فاصله‌ی  $10\text{ cm}$  از هدف و ضخامت ماسک  $4\text{ mm}$  در نظر گرفته شده است.

در مرحله‌ی بعد، با تغییر ضخامت ماسک از  $0.2\text{ mm}$  تا  $5.4\text{ mm}$  میزان پهنای لبه‌ی دُز محاسبه شد. برای ۲۲ حالت متفاوت برنامه اجرا شد و بعد از آنالیز داده‌ها و محاسبه پهنای لبه‌ی دُز نمودار شکل ۳ بدست آمد. با توجه به نمودار بدست آمده در شکل ۳ حدوداً از ضخامت  $1.2\text{ mm}$  هر اندازه که ضخامت ماسک کم‌تر شود در مقدار پهنای لبه‌ی دُز تغییر محسوسی حاصل نمی‌شود، همچنین برای مقادیر بالاتر از  $4.4\text{ mm}$  تقریباً پهنای لبه‌ی دُز به حالت اشباع می‌رسد و دیگر افزایش نمی‌یابد.

سپس سعی شد رفتار پهنای لبه‌ی دُز با تغییر اندازه و شکل چشمه بررسی شود. برای این منظور از چشمه‌ی مسطح دایره‌ای شکل با قطرهای  $2\text{ mm}$  الی  $5\text{ mm}$  در شبیه‌سازی استفاده شد. برای هر حالت ۱۵ بار برنامه اجرا شد و داده‌ها بعد از محاسبه و آنالیز در نمودار شکل ۴ رسم شد. با توجه به نمودار بدست آمده در شکل ۴، هنگامی که چشمه و ماسک در فاصله‌ی زیادی از هم قرار دارند نوع چشمه و اندازه‌ی آن در مقدار پهنای لبه‌ی دُز تأثیر محسوسی ندارد. هنگامی که ماسک به چشمه نزدیک می‌شود (برای  $A < 4$ ) تأثیر تغییرات اندازه ماسک در مقدار پهنای لبه‌ی دُز مشاهده می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که هرچه اندازه چشمه بزرگ‌تر باشد لبه‌ی دُز بزرگ‌تری خواهیم داشت.



شکل ۳: بستگی پهنای لبه‌ی دُز به ضخامت ماسک. ماسک در فاصله‌ی  $5\text{ cm}$  از هدف و چشمه‌ی نقطه‌ای در فاصله‌ی  $10\text{ cm}$  هدف قرار گرفته است.



شکل ۴: مقایسه بین چشمه‌ی نقطه‌ای با چشمه‌های مسطح با قطر ۲ الی ۵ میلی‌متر. پارامتر A نسبت فاصله‌ی چشمه تا هدف به فاصله‌ی ماسک تا هدف است. چشمه در فاصله‌ی ۱۰cm از هدف و ماسک با ضخامت ۴mm در فاصله‌ی ۵cm از هدف قرار دارد.

### بحث و نتیجه‌گیری:

برای پرتودهی هدف روی با استفاده از ماسک بوسیله چشمه‌ی  $^{90}\text{Sr}$ ، جهت اینکه میزان پهنای لبه‌ی دز کمترین مقدار ممکنه باشد و همچنین ماسک بهینه‌ای از لحاظ ضخامت داشته باشیم باید چشمه از لحاظ شکل بصورت نقطه‌ای و ضخامت ماسک اگر از جنس پلاستیک باشد باید قابل مقایسه با برد بتا باشد. همچنین هرچه فاصله‌ی چشمه از ماسک بیشتر باشد پهنای لبه‌ی دز کمتری خواهیم داشت.

### مراجع:

- 1) M. Burton, Radiation chemistry. The Journal of Physical Chemistry, 51(2), 611-625, (1947).
- 2) F. Seitz, On the disordering of solids by action of fast massive particles. Discussions of the Faraday Society, 5, 271-282, (1949).
- 3) غلامیان ف، (۱۳۹۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی اثر تابش‌های بتا و گاما بر تشکیل نانوساختارهای اکسید فلزی مس و روی"، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.



- 4) B. Pajic, & R. H. Greiner, Long term results of non-surgical, exclusive strontium-<sup>90</sup>yttrium-90 beta-irradiation of pterygia, *Radiotherapy and oncology*, 74(1), 25-29 (2005).
- 5) Nicholas Tsoulfanidis, *Measurement And Detection Of Radiation*, Taylor & Francis, Washington, 142, (1995)
- 6) M. H. Lee, K. H. Chung, G. K. Choi, & C. W. Lee., Measurement of <sup>90</sup>Sr in aqueous samples using liquid scintillation counting with full spectrum DPM method. *Applied radiation and isotopes*, 57(2), 257-263 (2002).