

## تعیین توزیع دوز چشمه $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ در فانتوم آب به روش مونت کارلو

علی اصغر مولوی\*

دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم سبزوار

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۵/۱۶

تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۸۷/۴/۲۹

### چکیده

**مقدمه:** چشمه  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  در براکی تراپی درون رگی<sup>۱</sup> پس از آنژیوپلاستی استفاده می‌شود تا با تابش‌دهی از دو باره تنگ شدن رگ وانسداد مجدد آن جلوگیری کند. هدف این پژوهش، تعیین توزیع دوز چشمه بتای  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  در فانتوم آب است.

**مواد و روشها:** در این پژوهش از کد MCNP4C برای محاسبه دوز در اطراف یک چشمه  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  در یک فانتوم آب به ابعاد  $30 \times 30 \times 30$  سانتیمتر مکعب استفاده شده است. همچنین هندسه چشمه به طور دقیق در شبیه سازی وارد شده است. تالی  $^*F8:e$  مناسب برای دوزیمتری پرتوهای بتا می‌باشد که با خطای کمتر از ۵٪ در درون کره‌ای به شعاع ۰/۲ میلی‌متر جهت محاسبات دوزیمتری استفاده شده است.

**نتایج:** با محاسبه تغییرات دوز به روش مونت کارلو و در راستاهای موازی و عمود بر چشمه و به فاصله ۰/۵ میلی‌متر، منحنی‌های هم دوز در فانتوم آب برای درصد دوز عمقی ۲/۵٪، ۱۰٪، ۲۰٪، ۴۰٪ و ۹۰٪ استخراج شده است.

**بحث و نتیجه گیری:** نتایج بدست آمده با نتایج گزارش شده توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی و بوکلی و همکارانش که دوزیمتری را بطور تجربی در فانتوم آب انجام داده‌اند؛ مقایسه شده و همخوانی بسیار خوبی دارد؛ لذا می‌توان از این نتایج در براکی تراپی درون رگی استفاده نمود. (مجله فیزیک پزشکی ایران، دوره ۵، شماره ۱، پیاپی (۱۹، ۱۸)، بهار و تابستان ۸۷: ۶۷-۷۲)

**واژگان کلیدی:** چشمه  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ، براکی تراپی درون رگی، کد MCNP4C، فانتوم آب، منحنی‌های هم‌دوز

\* نویسنده مسؤل: علی اصغر مولوی

آدرس: دانشگاه تربیت معلم سبزوار، سبزوار

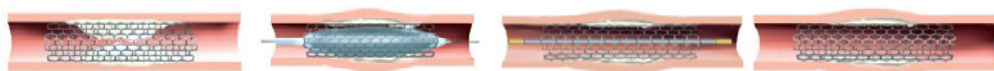
amowlavi@sttu.ac.ir

تلفن: ۰۴۴۱۰۱۰۴ - (۵۷۱) ۹۸+

## ۱- مقدمه

تاریخچه استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها برای مقاصد تشخیص و درمان در پزشکی به دهه‌ی ۱۹۵۰ میلادی بر می‌گردد. در واقع منشأ این علم که موسوم به پزشکی هسته‌ای است، به دورانی بر می‌گردد که برای اولین بار ایزوتوپ  $^{131}\text{I}$  جهت تشخیص و درمان بیماری‌های غده تیروئید استفاده شد. با گذشت بیش از نیم قرن از آن زمان، توسعه زیادی در این علم نوپا روی داده است. امروزه رادیوایزوتوپ‌ها در دو حیطه‌ی تشخیص در حد گسترده، و درمان در حد محدودتر به کار برده می‌شوند. خواص رادیوایزوتوپ‌هایی که جنبه درمانی دارند نوعاً باید به گونه‌ای باشد تا به از بین رفتن سلول‌های معیوب و سرطانی کمک کند؛ برای رسیدن به چنین هدفی از پرتودهی رادیوایزوتوپ‌ها بهره می‌جویند. چشمه‌ی رادیوایزوتوپی  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  از محصولات شکافت هسته‌ای به دست می‌آید که دارای نیمه عمر ۲۸/۷۸ سال و دارای طیف گسترده‌ی انرژی از پرتو بتا است که حداکثر انرژی طیف بتای آن ۲/۲۷ میلیون الکترون ولت و انرژی متوسط آن

۰/۹۳۵ میلیون الکترون ولت می‌باشد [۱،۲]. از چشمه  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  در براکی تراپی درون رگی استفاده می‌شود که در درمان بیماری‌های قلبی و به منظور بازگشایی مجدد شریان‌های قلبی، پس از آنژیوپلاستی استفاده می‌شود [۲-۴]؛ این فرآیند در شکل ۱ نشان داده شده است. چشمه شامل یک تیوپ یا لوله نازک قابل انعطاف می‌باشد که در آن یک ردیف از ساچمه‌های چشمه رادیواکتیو قرار دارد، که به داخل شریان‌های قلبی از طریق کشاله ران وارد می‌کنند و با تابش بتا بافت‌های زیادی را از بین برده لذا از انسداد دوباره آن جلوگیری می‌کند. استفاده از رادیوایزوتوپ‌های گسیلنده بتا دیگری نظیر  $^{32}\text{P}$ ،  $^{188}\text{Re}/^{188}\text{W}$  و گسیلنده‌های گامای و ایکس کم انرژی نظیر  $^{125}\text{I}$ ،  $^{192}\text{Ir}$  و  $^{125}\text{Pd}$  نیز در براکی تراپی درون رگی گزارش شده است [۵]. اما چشمه‌های بتا به خاطر بُرد کوتاه نسبت به چشمه‌ای فوتونی از اولویت بیشتری برای این نوع درمان برخوردارند.



شکل ۱- فرآیند بازگشایی شریان‌ها: ابتدا آنژیوپلاستی و سپس براکی تراپی

## ۲- مواد و روشها

### ۱-۲- مشخصات چشمه $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$

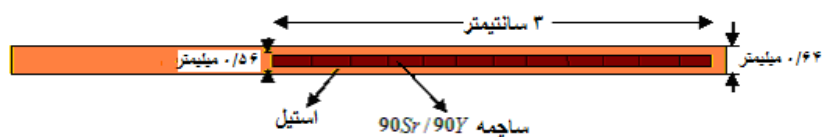
یک چشمه بتا  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  استاندارد و مناسب برای براکی تراپی درون رگی، از سرامیک  $\text{SiO}_2$  با چگالی ۳ گرم بر سانتیمتر مکعب و قطر مغزی رادیواکتیو ۰/۵۶ و ضخامت روکش ۰/۰۴ میلیمتر تشکیل شده است. این چشمه شامل ۱۲ ساچمه استوانه‌ای

شکل می‌باشد که درون یک حفاظ استیلی با ضخامت ۰/۰۴ میلیمتر و چگالی ۸/۰۶ گرم بر سانتیمتر مکعب جای گرفته است، و طول آن برابر ۳ سانتیمتر است که این اطلاعات از مرجع شماره ۱ استخراج شده است. شکل ۲ هندسه چشمه‌ای را که در این پژوهش شبیه سازی شده است نشان می‌دهد. طیف انرژی  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  شامل واپاشی بتا از هسته مادر  $^{90}\text{Sr}$  و دختر هسته‌ی آن  $^{90}\text{Y}$  می‌باشد؛

توزیع دوز چشمه  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  با مونت کارلو

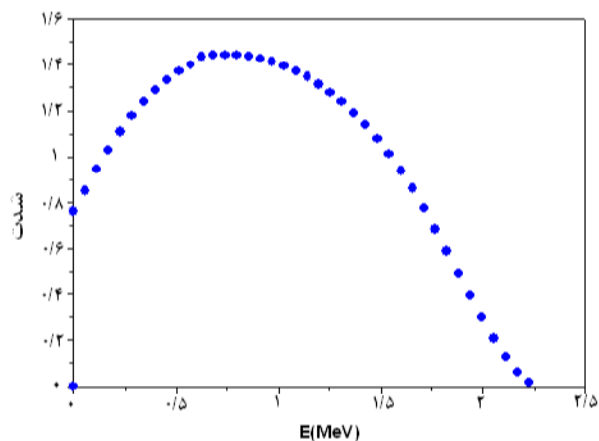
است. در شبیه سازی چشمه از مُد الکترون استفاده نموده ایم.

بیشترین انرژی ۲/۲۷ میلیون الکترون ولت و نیمه عمر آن ۲۸/۷۸ سال است. طیف انرژی چشمه ی  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  در شکل ۳ رسم شده



شکل ۲- هندسه چشمه  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  در براکی تراپی که در محاسبات شبیه سازی شده است.

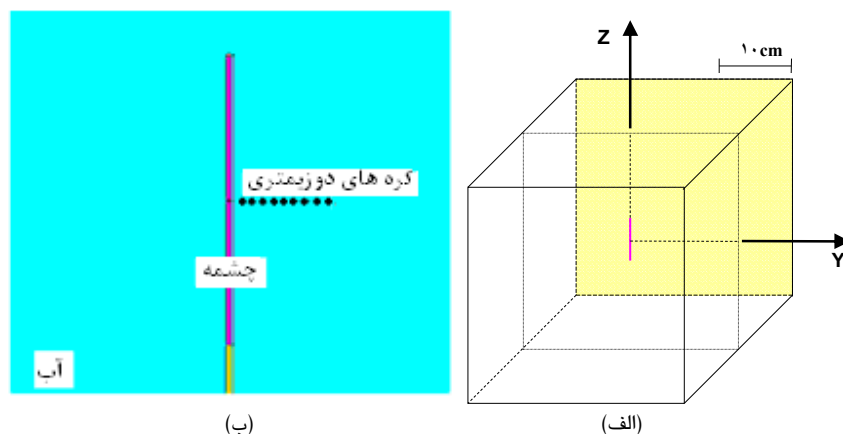
به ابعاد  $30 \times 30 \times 30$  سانتیمتر مکعب به روش مونت کارلو به کمک کد MCNP انجام شده است. شکل ۴ طرحوار فانتوم را نشان می دهد. در راستای Y و به فاصله ۰/۵ میلی متر و در راستای Z نیز به فاصله ۰/۵ میلی متر تغییرات دوز با تالی \*F8 در درون کره ای به شعاع ۰/۲ میلی متر محاسبه شده است. سپس با درونیابی، نقاط هندسی هم دوز را برای رسم منحنی های هم دوز پیدا نموده ایم. دوز در نقطه  $Z=2$  میلی متر و  $Y=2$  میلی متر به عنوان مرجع ۱۰۰ اختیار شده و دوز در نقاط دیگر را نسبت به آن بدست آورده ایم. در اجرای برنامه های مربوط به این تحقیق، انرژی قطع برابر ۱ کیلو الکترون ولت بوده و خطای نسبی مربوط به این محاسبات کمتر از ۵٪ می باشد.



شکل ۳- طیف بتاهای گسیل شده در واپاشی  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$

## ۲-۲- دوزیمتری در فانتوم آب

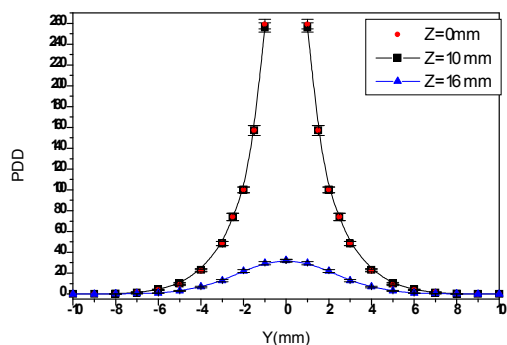
در این پژوهش، محاسبات مربوط به توزیع دوز در اطراف چشمه  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  قرار داده شده در مرکز یک فانتوم مکعبی آب



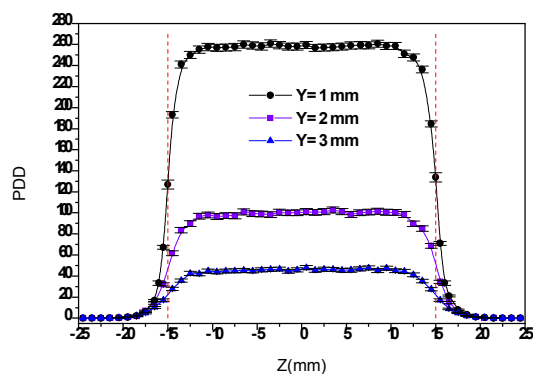
شکل ۴- الف) طرحوار فانتوم آب در دوزیمتری چشمه  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ؛ ب) تصویری از هندسه چشمه و فانتوم که توسط MCNP رسم شده است.

### ۳- نتایج

شکل ۵ تغییرات درصد دوز عمقی<sup>۱</sup> در راستاهای  $Z=0$ ،  $Y=10$ ،  $Z=16$  میلیمتر را نشان می‌دهد. همچنین تغییرات درصد دوز عمقی در راستاهای  $Y=1$ ،  $Y=2$ ،  $Y=3$  میلیمتر در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به این نمودارها ملاحظه می‌شود که اولاً به دلیل برد کوتاه پرتوهای بتا، با دور شدن از چشمه دوز تابشی نسبی بسیار سریع و به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، ثانیاً برای بازه  $Z \in [-15, 15]$  میلیمتر یعنی در سرتاسر طول چشمه تغییرات دوز در راستای موازی با آن تقریباً یکسان است، ولی برای  $Z$  های خارج از این بازه، PDD به سرعت کاهش می‌یابد. در شکل ۷ منحنی‌های هم دوز در فانتوم آب برای ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۹۰ درصد رسم شده است. در منحنی  $PDD=10\%$  به خاطر افت و خیزهای آماری ناشی از برهم کنش کولنی الکترون‌ها، پراکندگی نقاط بیشتر دیده می‌شود.



شکل ۵- تغییرات درصد دوز عمقی در راستاهای  $Z=0$ ،  $Z=10$  و  $Z=16$  میلیمتر

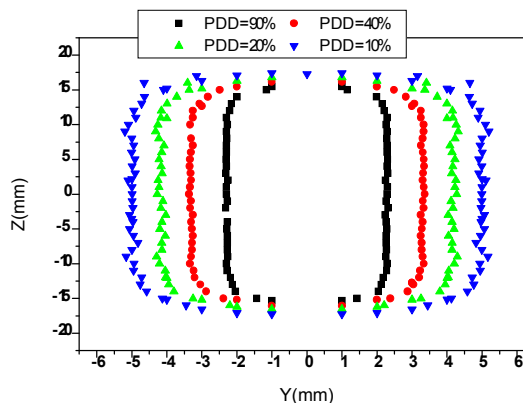
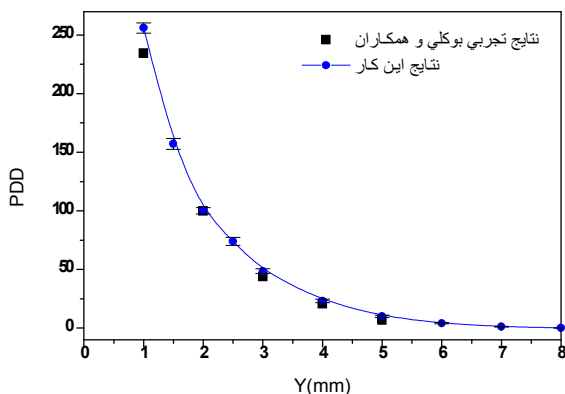


شکل ۶- تغییرات درصد دوز عمقی در راستاهای  $Y=1$ ،  $Y=2$ ،  $Y=3$  میلیمتر.

1 - Percentage Depth Dose: PDD

تعیین توزیع دوز چشمه  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  در فانتوم آب با مونت کارلو

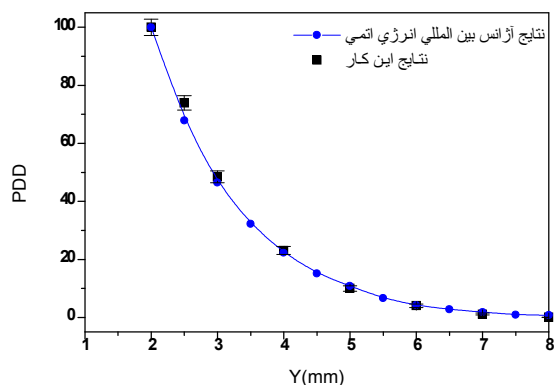
شده در این تحقیق قطر آن بوده، و علاوه بر نتایج آژانس بین المللی انرژی اتمی در این زمینه، تنها نتایج تجربی بوکلی و همکارانش برای مقایسه قابل دسترس بودند.



شکل ۷- منحنی های هم دوز ۹۰، ۴۰، ۲۰، ۱۰ درصد

#### ۴- بحث

برای بررسی نتایج شبیه سازی لازم است این نتایج را با نتایج تجربی دیگران مقایسه نماییم. یکی از تحقیق‌های تجربی مربوط به بوکلی<sup>۱</sup> و همکارانش است که دوزیمتری  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  را در آب و چند فانتوم مختلف اندازه‌گیری کرده‌اند. آنها برای دوزیمتری در فانتوم آب از آشکارسازهای گازی بسیار کوچک و الماسی استفاده کردند که از فاصله ۱ تا ۵ میلی‌متر چشمه جابجا می‌شدند و کنترل آنها توسط کامپیوتر بوده است [۶]. شکل ۸ نشان دهنده نتایج به دست آمده توسط بوکلی و همکارانش در فانتوم آب و نتایج گزارش شده توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی<sup>۲</sup> [۷] با نتایج مونت کارلو این تحقیق مقایسه شده است؛ که همخوانی خوبی دارند. حدود ۶۳٪ نقاط با نتایج آژانس بین المللی انرژی اتمی کمتر از ۴٪ اختلاف دارند و بقیه زیر ۱۰٪، در صورتی که در مقایسه با داده‌های بوکلی، اختلاف بیشتر است و بجز یک نقطه بقیه بین ۹٪ تا ۱۵٪ اختلاف دارند. لازم به ذکر است که تنها تفاوت چشمه در مقاله بوکلی و همکارانش با چشمه شبیه سازی



شکل ۸- مقایسه نتایج مونت کارلو با نتایج تجربی بوکلی و همکارانش و نتایج گزارش شده توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی

#### ۵- نتیجه گیری

شبیه سازی مونت کارلو می‌تواند در بررسی داده‌های تجربی برای براکی تراپی بسیار مفید باشد. در نزدیکی چشمه که شیب تغییرات دوز بسیار زیاد است، به وسیله شبیه سازی مونت کارلو می‌توان در هر نقطه دلخواه در داخل فانتوم آب و در هر فاصله از

1- Buckley  
2- International Atomic Energy Agency (IAEA)

سازی مونت کارلوی همخوانی بسیار خوبی با نتایج به دست آمده توسط بوکلی و همکارانش در فانتوم آب و نتایج گزارش شده توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی دارند.

چشمه دوزیمتری را بسیار دقیق انجام داد؛ در حالی که انجام دوزیمتری به روش تجربی در این نواحی بسیار مشکل و یا شاید غیر ممکن است و فقط برای نقاط محدود و نسبتاً با فاصله از چشمه می توان دوز را اندازه گیری کرد. نتایج حاصل از شبیه

### منابع

1. Wang R, Li XA. Monte Carlo calculation of dosimetric parameters of  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  and  $^{192}\text{Ir}$  SS sources for intravascular brachytherapy. *Med Phys* 2000; 27(11): 2528-35.
2. Chibani O, Li XA. Dosimetric effects of source – offset in intravascular brachytherapy. *Med Phys* 2002; 29(4):530-7.
3. Amols HI, Zaider M, Weinberger J, Ennis R, Schiff PB, Reinstein LE. Dosimetric considerations for catheter based beta and gamma emitters in the therapy of neointimal hyperplasia in human coronary arteries. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1996; 36(4): 913–21.
4. Wang R, Li XA, Lobdell J. Monte Carlo dose characterization of a new  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  source with balloon for intravascular brachytherapy. *Med Phys* 2003; 30(1):27-33.
5. Häfeli UO, Roberts WK, Meier DS, Ciezki JP, Pauer GJ, Lee EJ, Weinhaus MS. Dosimetry of a W-188/Re-188 beta line source for endovascular brachytherapy. *Med Phys* 2000; 27(4): 668-75
6. Buckley LA, Thomadsen BR, DeWerd LB. The water equivalence of phantom materials for  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  beta particles. *Med Phys* 2001; 28(6): 1010-15.
7. IAEA Training Material on Radiation Protection in Radiotherapy, Part 6. Brachytherapy. Lecture 2 (cont.): Brachytherapy Techniques.  
[http://tpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/Documents/TrainingRadiotherapy/Lectures/RT06\\_Brachy2b\\_Techniques\\_WEB.ppt](http://tpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/Documents/TrainingRadiotherapy/Lectures/RT06_Brachy2b_Techniques_WEB.ppt)