

## محاسبه پارامترهای دزیمتری چشمه براکی تراپی $^{252}\text{Cf-AT}$ با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو

راحله طبری جویباری<sup>۱</sup>، فواد گلی احمدآباد<sup>۲\*</sup>، هادی رضایی<sup>۳</sup>، فریبا عینی<sup>۴</sup>، میثم فروزی<sup>۵</sup>

### چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه استفاده از شبیه‌سازی برای تعیین دقیق پارامترهای دزیمتری اجتناب‌ناپذیر است. در این مطالعه پارامترهای دزیمتری  $^{252}\text{Cf-AT}$  به‌عنوان یک چشمه نوترونی براکی تراپی با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو محاسبه می‌شود که در درمان برخی از سرطان‌های رحم و تومورهای مغزی کاربرد دارد.

**روش بررسی:** ویژگی‌های فیزیکی و هندسی چشمه کالیفورنیوم-۲۵۲ مدل AT با استفاده از کد شبیه‌سازی MCNPX (2.6.0) تخمین زده شده و قدرت گرمای هوا در داخل یک کره خلأ محاسبه شد. پارامترهای دزیمتری برای چشمه قرار گرفته در یک فانتوم یکنواخت آب و بر اساس پروتکل TG-43 پیشنهاد شده توسط AAPM تعیین شد.

**یافته‌ها:** قدرت گرمای نوترون هوای چشمه  $^{252}\text{Cf}$  در واحد اکتیویته برابر با (cGy  $\text{cm}^2/\mu\text{gh}$ )  $0.33$  تخمین زده شد. ثابت آهنگ دز نوترون  $\Lambda_N$  برای  $F6^*$  و  $F6$  به ترتیب برابر با  $5.7524$  cGy/Uh و  $5.650816$  cG/Uh تخمین زده شد. تابع شعاعی دز با یک معادله درجه پنجم به دست آمد. مقادیر عددی و معادلات مربوطه به توابع آنیزوتروپی دز  $F(r, \theta)$  نیز تخمین زده شد.

**نتیجه‌گیری:** پارامترهای دزیمتری برای چشمه  $^{252}\text{Cf}$  مدل AT که با کد مونت کارلو محاسبه شده است، همخوانی خوبی با نتایج تجربی و محاسبه شده قبلی دارد. مقادیر محاسبه شده می‌تواند در نرم‌افزارهای طراحی درمان براکی تراپی با چشمه  $^{252}\text{Cf}$  AT مورد استفاده قرار گیرد.

**کلید واژگان:** براکی تراپی، دزیمتری نوترون، چشمه  $^{252}\text{Cf-AT}$ ، شبیه‌سازی مونت کارلو.

۱- مربی گروه رادیولوژی.

۲- مربی گروه بیوشیمی و فیزیک پزشکی.

۳- کارشناس ارشد فیزیک پزشکی گروه رادیولوژی.

۴- کارشناس ارشد فیزیک پزشکی.

۵- کارشناس ارشد فیزیک.

۱- گروه رادیولوژی، دانشکده علوم پزشکی بهبهان، بهبهان، ایران.

۲- دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی جیرفت، جیرفت، ایران.

۳- گروه رادیولوژی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران.

۴- فیزیک پزشکی، فیزیست بیمارستان پارسیان شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۵- کارشناس ارشد فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

\* نویسنده مسئول:

فواد گلی احمدآباد؛ دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی جیرفت، جیرفت، ایران.

تلفن: ۰۰۹۸۹۱۹۵۰۸۸۰۶۱

Email: goli.ahmadabad@yahoo.com

اعلام قبولی: ۱۳۹۵/۴/۹

دریافت مقاله اصلاح‌شده: ۱۳۹۵/۲/۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱

## مقدمه

ثابت آهنگ دز و تابع دز شعاعی برای چشمه  $^{252}\text{Cf}$  با استفاده از محاسبات شبیه‌سازی مونت کارلو بر اساس روابط TG-43 اعتبار سنجی شده است. در MCNP از آدرس (1wtr.01t) برای محاسبه دقیق برهمکنش نوترون‌های حرارتی استفاده شده است.

## روش بررسی

کد شبیه‌سازی MCNPX (2.6.0) (۷) برای انجام محاسبات شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور دقت بیشتر در محاسبه ترابرد نوترون‌های کند در آب سبک از سطح مقطع نوترون‌های گرمایی در حالت جامد  $S(\alpha, \beta)$  از کد 1wtr.01t استفاده شد. در برنامه‌های شبیه‌سازی در این مطالعه تعداد ترابرد نوترون از چشمه نوترونی برابر با  $10^8$  در نظر گرفته شد که خطای کمتر از ۱٪ را در دورترین فاصله از چشمه (۱۰ cm) نتیجه می‌دهد. در روش به‌کار رفته توسط ریوارد (Rivard) از تالی F6 برای محاسبه دز جذبی استفاده شده است (۸)؛ و در مطالعه‌ای که توسط یانچ (Yanch) و زامنهوف (Zamenhof) انجام شد، شار نوترونی به عنوان دز جذبی به‌کار رفته است (۹). در مطالعه حاضر F6 و F8\* مورد مطالعه قرار گرفته است.

## چشمه نوترونی کالیفورنیوم-۲۵۲

ابعاد و مواد چشمه کالیفورنیوم-۲۵۲ که در این مطالعه بررسی شده است در شکل (۱) نشان داده شده است. نسبت، چگالی و سطح مقطع مواد به‌کار رفته در این مطالعه در جدول (۱) قید شده است. بخش فعال چشمه، استوانه‌ای از جنس  $\text{Pd:Cf}_2\text{O}_3$  با چگالی  $12 \text{ gr/cm}^3$  است. طول این استوانه ۱/۵ cm و شعاع آن  $0.615 \text{ cm}$  است که در کپسولی از جنس پلاتین-ایریدیم ۱۰٪ (Pt/Ir-10%)، با چگالی  $21.5 \text{ gr/cm}^3$  و ابعاد قطر داخلی ۰/۱۳۵ cm، قطر خارجی ۰/۱۷۵ cm، طول داخلی ۱/۵۵ cm و طول خارجی ۱/۷۷ cm قرار دارد. این کپسول در محفظه‌ای با ابعاد قطر داخلی ۰/۱۸ cm

رادیو ایزوتوپ کالیفورنیوم-۲۵۲ با نیمه عمر ۲/۶۴۵ سال به طور گسترده در تحقیقات صنعتی و پزشکی به عنوان تابش‌دهنده نوترون‌های سریع مورد استفاده قرار می‌گیرد. کالیفورنیوم-۲۵۲ تنها ایزوتوپ تابش‌دهنده نوترون مورد استفاده در رادیوتراپی است و در حال حاضر بیشتر تابش‌دهنده نوترون است و همچنین پرتوهای گاما، ذرات آلفا و ذرات بتا نیز گسیل می‌کند. کالیفورنیوم-۲۵۲ در ۹۶/۶ درصد تابش‌ها ذره آلفا واپاشی می‌کند و ۳/۱ درصد از تلاشی‌ها منجر به شکافت هسته‌ای می‌شود. در هر شکافت به طور متوسط  $3.768$  نوترون آزاد می‌شود به طوری که هر میکروگرم از کالیفورنیوم-۲۵۲ تعداد  $10^6 \times 2.314$  نوترون در ثانیه با محتمل‌ترین انرژی  $0.7 \text{ MeV}$  نوترون تابش می‌کند (۱) که شار مناسبی را برای براکی تراپی فراهم می‌کند (۲، ۳). موفقیت‌های کلینیکی حاصل شده از درمان کالیفورنیوم-۲۵۲ بدون شک به خصوصیات ذاتی نوترون‌های سریع مربوط می‌شود. این خصوصیات شامل بالا بودن اثر نسبی بیولوژیکی (RBE) و کاهش نسبت افزایش اکسیژن است که برتری نوترون به فوتون را در درمان سلول‌های هایپوکسیک، نشان می‌دهد. در حالت کلی اثر بیولوژیکی در درمان براکی تراپی  $^{252}\text{Cf}$  با اکثریت قاطع به نوترون نسبت داده می‌شود. چون نوترون (در یکای دز) به طور میانگین ۶ برابر بیشتر از گاما در کشتن سلول‌ها تأثیر دارد. در درمان تومورهای سر و گردن و تومورهای مربوط به بیماری‌های زنان استفاده از نوترون براکی تراپی نتایج بسیار مطلوبی به همراه داشته است که این نتایج با بهترین نتایج طراحی درمان در رادیوتراپی قابل مقایسه است و همچنین اثرات جانبی بعد از دریافت دز نسبت به فوتون براکی تراپی کمتر است (۴-۶). در رادیوتراپی مهمترین هدف، رساندن بیشترین دز به تومور و کمترین دز به بافت‌های سالم است، بنابراین باید توزیع دز چشمه براکی تراپی به طور دقیق مشخص شده و در طراحی درمان مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه قدرت گرمای هوا،

روی محور عمود بر محور مرکزی چشمه،  $\theta_0 = 90^\circ$  و  $r_0 = 1\text{cm}$  در داخل فانتوم همگن آب بر قدرت کرمای هوا  $\dot{S}_{KN}$  محاسبه می‌شود:

$$\Lambda_N = \frac{\dot{D}_N(r_0, \theta_0)}{\dot{S}_{KN}} \quad (۴)$$

با جای‌گذاری چشمه در مرکز فانتوم آب، دز جذبی نوترون با استفاده از تالی‌های  $F8^*$  و  $F6$  بر روی محور عمود بر محور مرکزی در فاصله ۱ سانتی‌متری محاسبه و بر قدرت کرما تقسیم می‌شود. خروجی‌های محاسبه شده شبیه‌سازی با اعمال ضرایب مربوطه به دز جذبی (Gy) تبدیل می‌شود.

تابع شعاعی دز  $g_N(r)$  وابستگی جذب نوترون‌ها و پراکندگی فوتون در طول محور عرضی در ماده را در نظر می‌گیرد و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$g_N(r) = \frac{\dot{D}_N(r, \theta_0) G(r_0, \theta_0)}{\dot{D}_N(r_0, \theta_0) G(r_0, \theta_0)} \quad (۵)$$

با توجه به محاسبات عملی مناسب‌ترین معادله برای بیان تابع شعاعی دز، تابع درجه پنج است:

$$g_N(r) = a_0 + a_1 r + a_2 r^2 + (۶) \\ a_3 r^3 + a_4 r^4 + a_5 r^5$$

تابع شعاعی دز  $g_N(r)$  در پوسته‌های استوانه‌ای در اطراف محور عمود بر محور مرکزی چشمه به ضخامت  $0.2\text{cm}$  در فاصله  $0.4\text{cm}$  از مرکز چشمه تا  $10\text{cm}$  با استفاده از تالی  $F6$  محاسبه می‌شود.

$G(r, \theta)$  فاکتور هندسی است که کاهش فلوی نوترون‌ها در هر فاصله از چشمه را بسته به هندسه چشمه در نظر می‌گیرد و وابسته به توزیع ماده رادیواکتیو در چشمه است. با در نظر گرفتن چشمه به صورت نقطه-ای،  $G(r, \theta) = 1/r^2$  است و برای یک چشمه خطی با توزیع یکنواخت فاکتور هندسی به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$G(r, \theta) = \frac{\arctan\left[\frac{L}{2r\sin\theta} + \cot\theta\right] + \arctan\left[\frac{L}{2r\sin\theta} - \cot\theta\right]}{Lr\sin\theta} \quad (۷)$$

قطر خارجی  $0.28\text{cm}$ ، طول داخلی  $1.782\text{cm}$  و طول خارجی  $2.314\text{cm}$  واقع شده است. یک کره چشمی به قطر  $0.0635\text{cm}$  در یک طرف انتهای چشمه تعبیه شده است. طیف انرژی شکافت کالیفورنیوم-۲۵۲ به صورت تابع وات (۳، ۲) با معادله زیر در نظر گرفته شده است:

در این مطالعه چشمه در مرکز کره‌ای به شعاع  $15\text{cm}$  قرار دارد و تالی‌ها در پوسته‌هایی استوانه‌ای به طول  $0.2\text{cm}$  و ضخامت  $0.2\text{cm}$  که عمود بر محور چشمه و تا  $11\text{cm}$  از مرکز چشمه طراحی شده محاسبه می‌شوند. به دلیل گرادیان بالای دز در نزدیکی چشمه، برای دزیمتری دقیق‌تر ضخامت پوسته‌های استوانه‌ای خیلی کوچک انتخاب شده است.

### پروتکل AAPM-TG.43 و دزیمتری چشمه

#### نوترونی کالیفورنیوم-۲۵۲

بر اساس پروتکل TG-43 پیشنهادی توسط AAPM (۱۰) آهنگ دز جذبی  $\dot{D}(r, \theta)$  چشمه نوترونی کالیفورنیوم-۲۵۲ در هر نقطه اطراف چشمه در داخل فانتوم آب با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{D}(r, \theta) = \dot{S}_{KN} \cdot \Lambda_N \cdot g_N(r) \cdot F_N(r, \theta) \cdot \left[\frac{G(r, \theta)}{G(r_0, \theta_0)}\right] \quad (۲)$$

که  $r$  فاصله شعاعی از مرکز چشمه،  $\theta$  زاویه از محور مرکزی چشمه می‌باشد.  $\dot{S}_{KN}$  قدرت کرمای هوا در یک محیط خلأ است و با رابطه زیر اندازه‌گیری می‌شود:

$$\dot{S}_{KN} = \dot{K}_N(d) \cdot d^2 \quad (۳)$$

که  $\dot{K}_N(d)$  آهنگ کرمای هوا و  $d$  فاصله از چشمه است. با جای‌گذاری چشمه در داخل کره خلأ به شعاع  $110$  سانتی‌متر، کرمای هوا نوترونی با استفاده از تالی  $F6$  در یک قطاع پوسته کروی از هوا با زاویه  $88/5$  تا  $91/5$  درجه به ضخامت  $1$  سانتی‌متر و شعاع  $100$  سانتی‌متر محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از رابطه (۳) می‌توان قدرت کرما را به دست آورد.

ثابت آهنگ دز نوترون  $\Lambda_N$ ، با تقسیم آهنگ دز نوترون چشمه بر حسب  $\text{cGy}/\mu\text{gh}$  در نقطه مرجع بر

و پراکندگی در کپسول چشمه را مشخص می‌کند با معادله (۹) بیان می‌شود (۱۱):

$$F_N(r, \theta) = \frac{\dot{D}_N(r, \theta)G(r, \theta_0)}{\dot{D}_N(r, \theta_0)G(r, \theta)} \quad (9)$$

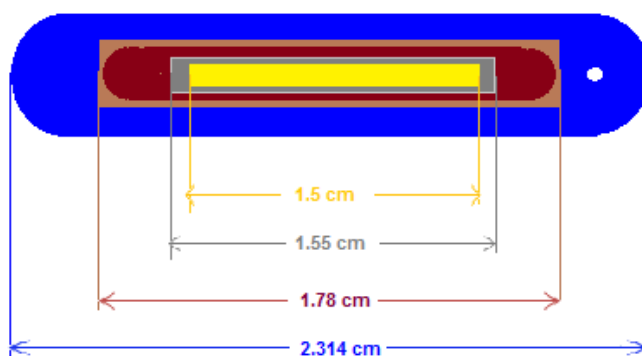
تابع آنیزوتروپی چشمه  $F_N(r, \theta)$  در فواصل ۲، ۳، ۵، ۸ و ۱۰ cm و در زاویه‌های ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ در داخل فانتوم آب را با استفاده از معادله ۸ می‌توان به دست آورد.

$$N(E) = Ce^{-0.9756E} \sinh(2.926)^{1/2}$$

که  $L$  طول ماده فعال داخل چشمه است. برای مثال برای  $\theta = 90^\circ$  فاکتور هندسی برای محاسبه تابع شعاعی دز به صورت زیر ساده می‌شود:

$$G(r, \theta_0) = \frac{2 \arctan \frac{L}{2r}}{Lr} \quad (8)$$

در این مطالعه فرض دقیق‌تر خطی بودن چشمه (به جای نقطه‌ای) در نظر گرفته شده است. تابع آنیزوتروپی  $F_N(r, \theta)$  که نایکنواختی وابستگی زاویه‌ای جذب نوترون



شکل ۱: شکل هندسی چشمه براکی تراپی  $^{252}\text{Cf-AT}$

جدول ۱: عناصری که در مطالعه حال حاضر مورد استفاده قرار گرفته است (۸)

ایزوتوپ	سطح مقطع نوترون	Pt/Ir-10%	Pd:Cf <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	آب	هوای خشک
<sup>1</sup> H	1001.60c			0.11186	
<sup>2</sup> H	1002.60c			0.000034	
C	6000.60c				0.000086
<sup>14</sup> N	7014.60c				0.77777
<sup>15</sup> N	7015.60c				0.00309
<sup>16</sup> O	8016.60c		0.1741	0.887751	0.209625
<sup>17</sup> O	8017.60c			0.000355	0.000089
Ar	18000.59c				0.00934
<sup>105</sup> Pd	46105.50c		0.49		
<sup>108</sup> Pd	46108.50c		0.49		
Ir	77000.55c	0.1			
Pt	78000.35c	0.9			
<sup>252</sup> Cf	98252.60c		1.8259		
چگالی جرمی (g.cm <sup>-3</sup> )		21.5	12	0.998	0.001197

یافته ها

تابع شعاعی دز

نمودار مقادیر محاسبه شده برای تابع شعاعی دز  $g_N(r)$  در شکل (۲) ارائه شده است. ضرایب حاصل از منحنی (مطالعه حاضر) شکل (۱) با تابعی درجه پنج منطبق شده است. مقادیر ثابت حاصل از تابع شعاعی دز بر حسب فاصله شعاعی  $r$  به صورت زیر به دست آمد:

$$\begin{aligned} a_0 &= 1.0093377, \\ a_1 &= 0.0087520386, \\ a_2 &= -0.019792477, \\ a_3 &= 0.0019560116, \\ a_4 &= -6.502874 \times 10^{-5}, \\ a_5 &= 1.4271244 \times 10^{-7}, \end{aligned}$$

تابع آنیزوتروپی دز  $F_N(r, \theta)$

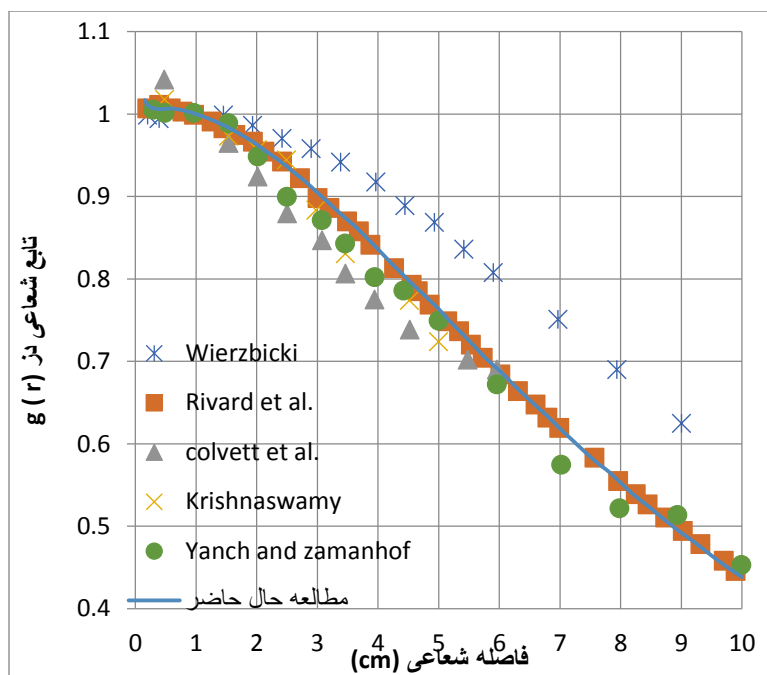
تابع آنیزوتروپی دز  $F_N(r, \theta)$  برای فواصل و زوایای ذکر شده به دست آمد. مقادیر به دست آمده برای تابع آنیزوتروپی دز  $F_N(r, \theta)$  در جدول ۳ نشان داده شده است.

بحث و نتیجه گیری

در تمام مطالعات قبلی محاسبات و اندازه گیری های مربوط به دز بر اساس پروتکل AAPM، TG-43، گزارش شده است و طول فعال چشمه برابر با ۱/۵ cm در نظر گرفته شده است. آهنگ دز جذب در آب در فاصله ۱ cm از مرکز چشمه  $\dot{D}_N(r_0, \theta_0)$  با استفاده از تالی \*F8 برابر  $1/898292 \text{ cGy}/\mu\text{g}$  و با استفاده از تالی F6 برابر  $1/86477 \text{ cGy}/\mu\text{g}$  به دست آمد. آهنگ دز جذبی در آب در فاصله ۱ سانتی متری، در جدول (۲) با مطالعات قبلی مقایسه شده است. آهنگ دز جذب محاسبه شده با تالی F6 مطابقت خوبی با مطالعات ریوارد و قاسون (Ghassoun) دارد. آهنگ دز جذب

محاسبه شده (تالی \*F8) با مطالعه یانچ و زامنهوف، کمتر از ۰/۱ درصد اختلاف دارد. در مطالعات ریوارد، تالی F6 برای نوترون های چشمه  $^{252}\text{Cf-AT}$  دز جذب به کار رفته است. از آنجا که برای ذرات سنگین و فوتون های کم انرژی، کرما و دز جذب را می توان تقریباً یکسان گرفت، مقادیر به دست آمده با استفاده از تالی F6 و F8 بسیار نزدیک به هم هستند. اختلاف مطالعه حاضر با ریوارد و قاسون در حدود ۰/۵ درصد است، که این اختلاف می تواند تفاوت در انتخاب اندازه دزیتر و یا هم پوشانی در خطای آماری محاسبات باشد. با توجه به جدول (۳) تابع آنیزوتروپی چشمه  $F_N(r, \theta)$  در فواصل ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳، ۵ و ۱۰ سانتی متر و در زاویه های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه در داخل فانتوم آب با استفاده از معادله ۲-۱۴ محاسبه شد که نتایج این مطالعه (جدول ۳) با مطالعه ریوارد (۸) توافق خوبی را نشان می دهند. اختلافات موجود به دلیل اندازه دزیترهای انتخاب شده و خطای آماری محاسباتی می باشد. تابع آنیزوتروپی مطالعه حاضر در فاصله ۰،۷۵ سانتی متر و زاویه  $10^0$  محاسبه نشده است، چون داخل چشمه قرار می گیرد.

نتایج این مطالعه نشان می دهد که با استفاده از روش شبیه سازی مونت کارلو با استفاده از کد MCNPX (۷) می توان پارامترهای دزیتری توصیه شده بر اساس AAPM، TG-43 (۱۰) را برای چشمه  $^{252}\text{Cf-AT}$  محاسبه کرد، که مطابقت خوبی با مطالعات شبیه سازی و اندازه گیری های گزارش شده توسط ریوارد (۲، ۸) دارد. مقادیر محاسبه شده می تواند در نرم افزارهای طراحی درمان براکی تراپی و در محاسبات عددی در بخش های براکی تراپی با چشمه  $^{252}\text{Cf-AT}$  مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲: مقایسه تابع شعاعی دز چشمه  $^{252}\text{Cf-AT}$  این مطالعه با نتایج پژوهش دیگران

جدول ۲: مقایسه آهنگ دز جذب در ۱ cm چشمه  $^{252}\text{Cf-AT}$  در فانتوم آب این مطالعه با نتایج پژوهش دیگران.

$\dot{D}_N(r_0, \theta_0)$	آهنگ دز جذب (cGy/ $\mu\text{gh}$ ) در آب در فاصله 1cm از مرکز چشمه	مقایسه با f6 (در این مطالعه)	مقایسه با *F8 (در این مطالعه)
Krishnaswamy (12)	1.929	-3.3 8.8	-1.59 %
Colvett et al. (12)	2.093	-10.9 %	-9.3 %
Yanch and Zamenhof (۹)	1.900	-1.85 %	-0.09 %
Wierzbicki et al. (13)	1.880	-0.8 %	+0.97 %
Rivard et al. (2)	1.873	-0.4 %	+1.35 %
Paredes et al. (14)	1.916	-2.6 %	-0.92 %
Ghassoun (15)	1.868	-0.17 %	+1.6 %
مطالعه حاضر با *F8	1.898292	-1.7 %	
مطالعه حاضر با F6	1.86477		+1.7 %

جدول ۳: مقادیر محاسبه شده تابع آنیزوتروپی نوترون  $F_N(r, \theta)$  برای چشمه  $^{252}\text{Cf-AT}$

فاصله شعاعی	زاویه از محور مرکزی چشمه $^{252}\text{Cf-AT}$ (درجه)							
	0	5	10	20	30	45	60	90
0.25	داخل چشمه	داخل چشمه	داخل چشمه	داخل چشمه	داخل چشمه	1.017355049	1.01076653	1
0.5	داخل چشمه	داخل چشمه	داخل چشمه	1.01752398	1.002494666	1.017578859	0.994548176	1
0.75	داخل چشمه	داخل چشمه	داخل چشمه	1.023401982	1.001164822	1.003547832	1.000289851	1
1	داخل چشمه	داخل چشمه	1.023999324	1.001538968	1.002051681	1.022929839	1.002826887	1
1.5	0.972819823	0.972819823	0.985353508	1.009510288	0.993395557	1.002028402	0.999872716	1
2	0.967402288	0.967402288	0.978505396	0.975220966	1.001479596	1.006076542	1.002591106	1
3	0.963825266	0.963825266	0.983080914	1.001868147	0.997422894	1.000866362	0.997986393	1
5	0.963390214	0.963390214	0.973333509	0.994706475	1.005215327	1.005811195	1.005472208	1
10	0.970014607	0.970014607	0.971991247	0.99416336	1.001454593	1.007804937	1.007440309	1

## قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از همکاری ارزشمند معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی جیرفت برای تأمین هزینه طرح پژوهشی به باشد، تشکر و قدردانی کنند.

## منابع

- 1-Caswell R, Coyne J, Randolph M. Kerma factors of elements and compounds for neutron energies below 30 MeV. *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes* 1982;33(11):1227-62.
- 2-Rivard MJ, Wierzbicki JG, Van den Heuvel F, Martin RC, McMahon RR. Clinical brachytherapy with neutron emitting Cf sources and adherence to AAPM TG-43 dosimetry protocol. *Medical physics* 1999;26:87.
- 3-Mannhart W. Evaluation of the Cf-252 fission neutron spectrum between 0 and 20 MeV. *IAEA-TECDOC* 1987;410:158-71.
- 4-Maruyama Y, Van Nagell J, Yoneda J, Donaldson E, Gallion H, Higgins R, et al. Cure of cervical cancer using cf-252 neutron brachytherapy. *Strahlenther Onkol* 1990;166(5):317-21.
- 5-Maruyama Y, Bowen MG, Van Nagell JR, Gallion HH, Depriest P, Wierzbicki J. A feasibility study of 252Cf neutron brachytherapy, cisplatin + 5-FU chemo-adjuvant and accelerated hyperfractionated radiotherapy for advanced cervical cancer. *International Journal of Radiation Oncology \* Biology \* Physics* 1994;29(3):529-34.
- 6-Maruyama Y, Feola JM, Wierzbicki J, Van Nagell JR, Powell D, Yoneda J. Clinical study of relative biological effectiveness for cervical carcinoma treated by 252Cf neutrons and assessed by histological tumour eradication. *British Journal of Radiology* 1990 Apr;63(748):270-7. PubMed PMID: 2112036.
- 7-Walter LS. (Ed.). LANL (Los Alamos National Laboratory) Monte Carlo N-Particle transport code system for multiparticle and high energy applications. Version 240 LA-CP-02-408 Los Alamos National Laboratory. 2002.
- 8-Rivard MJ. Neutron dosimetry for a general 252Cf brachytherapy source. *Med Phys* 2000 Dec;27(12):2803-15. PubMed PMID: 11190964.
- 9-Yanch J, Zamenhof R. Dosimetry of 252Cf sources for neutron radiotherapy with and without augmentation by boron neutron capture therapy. *Radiation research* 1992;131(3):249-56.
- 10-Rivard MJ, M. CB, DeWerd LA, Hanson WF, Huq MS, Ibbott GS. Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations. *Med Phys* 2004;31(3):633-74.
- 11-Ghassoun J, Chkillou B, Jehouani A. Spatial and spectral characteristics of a compact system neutron beam designed for BNCT facility. *Applied radiation and isotopes : including data, instrumentation and methods for use in agriculture, industry and medicine* 2009 Apr;67(4):560-4. PubMed PMID: 19168369.
- 12-Colvett RD, Rossi HH, Krishnaswamy V. Dose distributions around a californium-252 needle. *Phys Med Biol* 1972 May;17(3):356-64. PubMed PMID: 5070446.
- 13-Wierzbicki JG, Rivard MJ, Roberts W. Physics and Dosimetry of Clinical 252Cf Sources. *Californium-252, isotope for 21st century radiotherapy* 1997;29:25-53.
- 14-Paredes L. Neutrons absorbed dose rate calculations for interstitial brachytherapy with 252Cf sources. *NIMA* 2007 (580):582-5.
- 15-Ghassoun J, Mostacci D, Molinari V, Jehouani A. Detailed dose distribution prediction of Cf-252 brachytherapy source with boron loading dose enhancement. *Applied radiation and isotopes : including data, instrumentation and methods for use in agriculture, industry and medicine* 2010 Feb;68(2):265-70. PubMed PMID: 19889549.

## Calculation of Dosimetric Parameters for $^{252}\text{Cf}$ -AT Brachytherapy Source using Monte Carlo Simulation

Raheleh Tabari Juybari<sup>1</sup>, Foad Goli Ahmadabad<sup>2\*</sup>, Hadi Rezai<sup>3</sup>, Fariba Eyni<sup>4</sup>,  
Meysam Forouzi<sup>5</sup>

1-Lecturer of Radiology.

2-Coach to be Written.

3-Master of Medical Physics Radiology.

4-Master of Medical Physics.

5-Master of Physics.

1-Department of Radiology, Behbahan School of Medical Sciences, Behbahan, Iran.

2-School of Medicine, Jiroft University of Medical Sciences, Jiroft, Iran.

3-Department of Radiology, School of Paramedical Sciences, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran.

4-Physicist of Parsian Hospital, Shahrekord, Iran

5-Department of Physics, Shiraz University, Shiraz, Iran.

\*Corresponding author:

Foad Goli Ahmadabad, School of Medicine, Jiroft University of Medical Sciences, Jiroft, Iran.

Tel:+989195088061

Email:

Fo.goliahadabad@jmu.ac.ir

### Abstract

**Background and Objective:** Nowadays, the use of simulation for accurate determination of dosimetric parameters is inevitable. In this study dosimetric parameters  $^{252}\text{Cf}$ -AT as a neutron brachytherapy sources using Monte Carlo simulation was calculated for treatment planning of some uterus and brain tumors.

**Materials and Methods:** The physical and geometrical characteristic of  $^{252}\text{Cf}$ -AT source were estimated by MCNPX (2.6.0) code and the air kerma strength of the source placed inside the vacuum sphere was calculated. Recommended dosimetric parameters by AAPM, TG-43 protocol were determined for source positioned in a homogeneity water phantom.

**Results:** The air kerma strength of 252 Cf source was estimated 0.33 (cGycm<sup>2</sup>/μg.h). The neutron dose rate constant using \*F8 and F6 tallies was calculated 5.7524 (cGy/U.h), 5.650816 (cGy/U.h) respectively. The radial dose function with 5 degree equation was obtained. Numerical amounts of the anisotropy dose functions and the related equations were also calculated.

**Conclusion:** The calculated dosimetric parameters of the model  $^{252}\text{Cf}$ -AT source by Monte Carlo code are in good agreement with experimental results and previous calculations. The calculated values can be used by treatment planning systems for the  $^{252}\text{Cf}$ -AT source brachytherapy.

**Keywords:** Brachytherapy, Neutron dosimetry,  $^{252}\text{Cf}$ -AT source, Monte Carlo simulation.

►Please cite this paper as:

Tabari Juybari R, Goli Ahmadabad F, Rezai H, Eyni F, Forouzi M. Calculation of Dosimetric Parameters for  $^{252}\text{Cf}$ -AT Brachytherapy Source using Monte Carlo Simulation. Jundishapur Sci Med J 2016;15(4):383-390.

Received: Jan 21, 2016

Revised: Apr 24, 2016

Accepted: June 29, 2016