

تعیین خصوصیات دزیمتری چشمه پالادیوم-۱۰۳ مدل Pd-1 بر اساس پروتکل TG-43 توسط کد MCNP4C

رضا فقیهی^۱، مهدی زه تاییان^{۲*}، صدیقه سینا^۲، حامد کارگران^۲

۱. استادیار بخش مهندسی هسته‌ای، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

۲. بخش مهندسی هسته‌ای، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

mzmhfazai@yahoo.com

چکیده:

خصوصیات دزیمتری سورس براکی تراپی $Pd-103$ مدل $Pd-1$ با استفاده از روش تئوری با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو توسط کد MCNP4C بررسی گردید. پارامترهایی چون ثابت نرخ دز ($dose rate constant$)، تابع دز شعاعی ($radial dose function$) و توابع ناهمسانگردی ($anisotropy function$) این چشمه، بر اساس توصیه های TG-43 شبیه سازی گردید. به این منظور، شبیه سازی مقادیر مطلق دز در فانتوم کروی آب انجام گردید. برای به دست آوردن قدرت $Air-Kerma$ ی چشمه ی پالادیوم، این شبیه سازی ها در کره ی هوای خشک به شعاع ۴ متر انجام گردید. در این تحقیق ثابت نرخ دز برای این چشمه برابر با 0.64 ± 0.16 به دست آمد. توابع ناهمسانگردی چشمه در این محیط برای یک تا هفت سانتیمتر و زوایای ۰ تا ۱۸۰ درجه به دست آمد. نتایج شبیه سازی مونت کارلو، با یکدیگر و با نتایج کارهای اندازه گیری ها و شبیه سازی های قبلی مقایسه گردید. در نهایت مشاهده گردید که نتایج حاصل از این شبیه سازی همخوانی قابل ملاحظه ای با شبیه سازی ها و اندازه گیری های انجام شده ی قبلی دارد.

کلید واژه ها: شبیه سازی مونت کارلو، ثابت نرخ دز، تابع دز شعاعی، تابع ناهمسانگردی

۱- مقدمه

در دهه ی اخیر طراحی های متفاوتی از چشمه های I-125 و Pd-103 توسط شرکت DRAXIMAGE کانادا به بازار عرضه گردیده است. [1] ساختار هندسی این گونه خاص چشمه ها، به جهت تولید توزیع دزهای یکنواخت تر و کاهش آرتیفکت های تصویر برداری CT می باشد. بنا به توصیه ی AAPM اندازه گیری دز هر چشمه جدید براکی تراپی، قبل از استفاده کلینیکی باید توسط چند محقق به طور جداگانه انجام گیرد. در این تحقیق، خصوصیات دزیمتری چشمه Pd-1 از جمله ثابت نرخ دز، تابع دز شعاعی و تابع ناهمسانگردی، با استفاده از کد MCNP4C بررسی می گردد و در نهایت نتایج، با نتایج به دست آمده از تحقیقات تجربی و شبیه سازی های پیشین مقایسه می گردد.

بر طبق پروتکل شماره ی ۴۳، جامعه ی فیزیک پزشکان آمریکا هر چشمه ی براکی تراپی برای این که به استفاده ی کلینیکی برسد باید حداقل توسط دو نفر از محققان از نظر دزیمتری بررسی گردد. از سال ۱۹۹۵، پس از به چاپ رسیدن پروتکل شماره ی ۴۳ ی AAPM، این فرمالیسم جدید محاسبه ی دز با مقبولیت

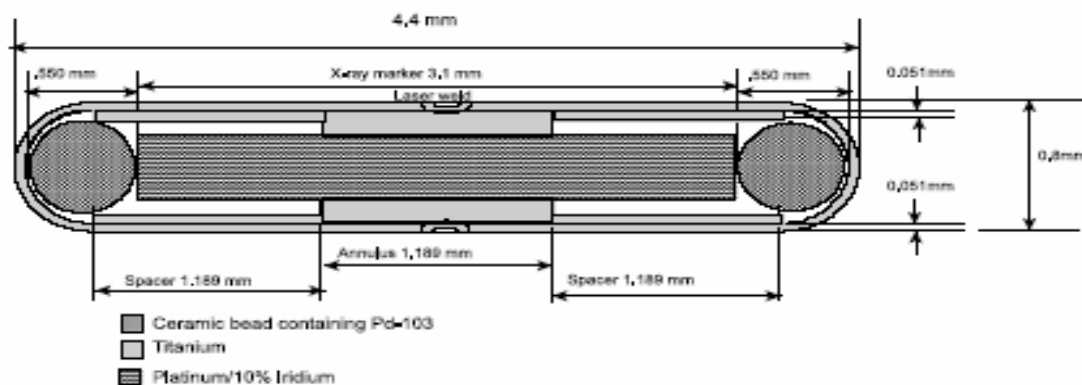
زیادی روبرو شد. و به این ترتیب محاسبات نیمه تجربی دز جای خود را به روش های محاسباتی با شبیه سازی مونت کارلو و دزیمتری به کمک TLD داد. روش های قدیمی محاسبه ی دز در اطراف چشمه های براکی تراپی با محدودیت های زیادی روبرو بودند از جمله این محدودیت ها می توان به وابستگی آن ها به ضریب تضعیف اشاره نمود [2].

در سال ۲۰۰۱، دکتر میگونی و همکاران به بررسی خواص دزیمتری چشمه ی پالادیوم مدل pd-1 به روش تجربی به کمک دزیمتر های ترمولومینسانس و شبیه سازی مونت کارلو پرداختند. [1]

۲- مواد و روش ها

۲-۱- چشمه پالادیوم مدل Pd-1

شکل ۱، دیاگرام شماتیک مدل Pd-1 سورس پالادیوم ساخته شده توسط کمپانی DRAXIMAGE نشان داده شده است. این چشمه ها با طول 4.4mm و قطر خارجی 0.8mm ساخته می شود. در درون این چشمه، یک نشانگر اشعه ی X از جنس Ir/Pd با طول 3.1mm و قطر 0.38mm وجود دارد. در دو سمت این چشمه، دو کره سرامیکی با قطر 0.55mm حاوی سورس پالادیوم وجود دارد. یک پوسته استوانه‌ای تیتانیومی با طول 1.13mm و قطر داخلی 0.38mm و قطر خارجی 0.691mm مارکر اشعه ی X را در بر می گیرد و دو جداکننده استوانه‌ای از جنس تیتانیوم در اطراف چشمه قرار می گیرد تا مارکر را محکم نگه دارد. شکل شماتیک این چشمه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: شکل شماتیک چشمه ی پالادیوم

۲-۲- تکنیک دزیمتری

خصوصیات چشمه ی پالادیوم Pd-1 در این تحقیق، بر طبق پیشنهادات AAPM توسط شبیه سازی با کد مونت کارلوی MCNP4C تعیین گردید. بر طبق این پروتکل، توزیع نرخ دز جذب شده در اطراف یک چشمه ی براکی تراپی توسط روابط زیر به دست می آید:

$$\dot{D}(r, \theta) = \frac{\Lambda S_k G(r, \theta)}{G(1\text{cm}, \pi/2)} g(r) F(r, \theta)$$

که Λ ثابت نرخ دز، $G(r, \theta)$ تابع هندسی، $g(r)$ تابع دز شعاعی، $F(r, \theta)$ تابع ناهمسانگردی و S_k قدرت ایر-کرما است [2].

۳-۲- دزیمتری توسط محاسبات مونت کارلو

کد مونت کارلو (MCNP4C) برای محاسبات توزیع نرخ دز در آب و هوای خشک استفاده گردیده است. این کد قادر به در نظر گرفتن برهم کنش های فوتوالکتریک، کامپتون و تولید جفت است. تالی های بسیار مختلفی در MCNP4C برای شبیه سازی خصوصیات مختلف فیزیکی موجود است. در این تحقیق از تالی F6 برای بدست آوردن دز جذب شده در یک نقطه مشخص در فانتوم ها، استفاده شد. سطح مقطع های برهم کنش مورد استفاده در این تحقیق، از کتابخانه ی DLC-200 استفاده می گردد. در این شبیه سازی ها انرژی های قطع 5KeV برای فوتون ها و الکترون ها استفاده می گردد. طیف انرژی پالادیوم از پروتکل TG-43 استفاده گردیده است. شبیه سازی های مونت کارلو با قرار دادن چشمه در مرکز یک حجم کروی با شعاع 30cm در حجم های فانتوم های مورد نظر انجام گردید. توروس های رینگی با شعاع های مقطع 0.5mm در اطراف چشمه به عنوان cell های اندازه گیری دز تعریف می گردد. حدود 10^8 فوتون در این شبیه سازی ها به حساب آورده شد. قدرت کرمای هوا نیز با قرار دادن این cell ها در هوای خشک به دست می آید [2].

۳- نتایج

چنانچه از جدول ۱ مشاهده می شود، ثابت نرخ دز برای این چشمه توسط کد MCNP4C برابر با 0.04 $U^{-1} Gyh^{-1}$ به دست می آید.

جدول ۱: مقایسه ی ثابت های نرخ دز پالادیم مدل pd-1 با سایر مدل های این چشمه

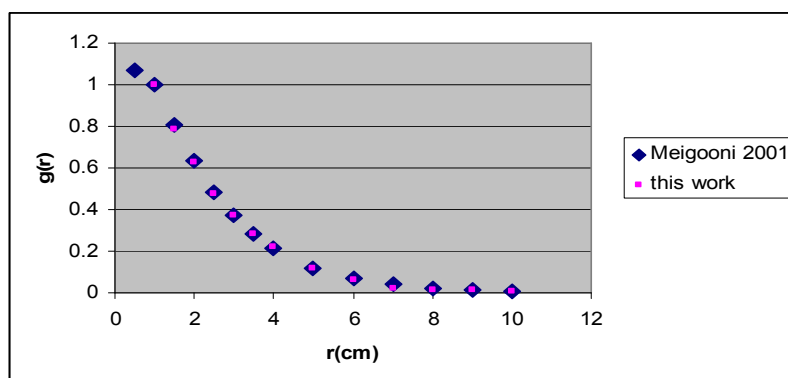
ثابت نرخ دز	فانتوم	روش	
0.75 ± 0.02	آب	مونیت کارلو	[1] میگوونی، مدل pd-1 ۲۰۰۱
0.71 ± 0.02	آب جامد	مونیت کارلو	
0.73 ± 0.02	آب جامد	اندازه گیری	
۰/۶۵	آب	اندازه گیری	Chiu-Tsau [4] مدل ۲۰۰ ۱۹۹۱
۰/۶۸	آب	مونیت کارلو	[5] ویلیامسون، مدل ۲۰۰ ۲۰۰۰
۰/۷۰	آب	مونیت کارلو	[6] میگوونی، مدل intersource ۲۰۰۰
۰/۶۶	آب جامد	مونیت کارلو	
۰/۶۶	آب جامد	اندازه گیری	
۰/۶۸	آب	اندازه گیری	[3] والاک، مدل Med 3633 ۱۹۹۹
۰/۶۴	آب	مونیت کارلو	مدل pd-1 تحقیق حاضر

تابع دز شعاعی این چشمه از دز جذب شده محاسبه شده در فانتوم آب از فاصله ی ۱ تا ۱۰ سانتی متری به دست آمد. این نتایج در جدول ۲ نمایش داده شده است. شکل ۲، این داده ها را با یک چند جمله ای درجه ی ۵ با ضرایب زیر نشان می دهد.

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

که در آن

$$a_0 = +1.5845, a_1 = -0.7123, a_2 = +0.1442, a_3 = -0.0169, a_4 = +0.0011, a_5 = -3E-05$$

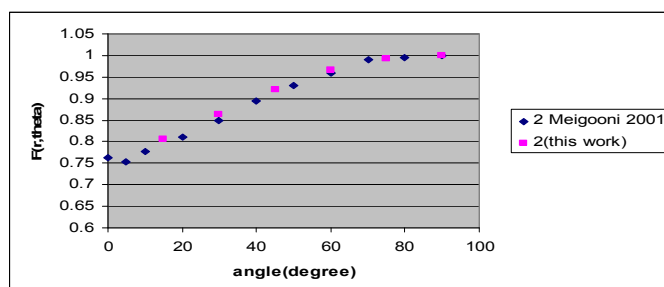


شکل ۲: تغییرات تابع دز شعاعی $g(r)$ بر حسب فاصله از مرکز چشمه

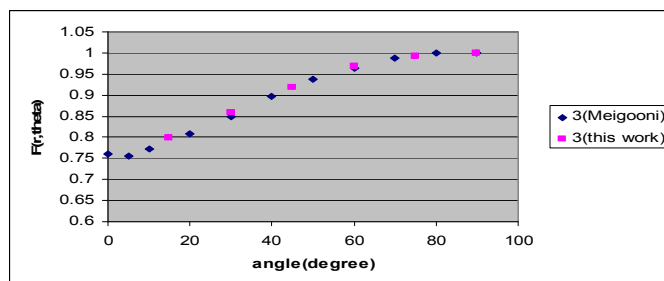
جدول ۲: تغییرات تابع دز شعاعی $g(r)$ بر حسب فاصله از مرکز چشمه

فاصله (cm)	$g(r)$ مدل pd-1، تحقیق حاضر	$g(r)$ میگونی، مدل pd-1، ۲۰۰۱
۰/۲۵		
۰/۵		1.067
۱/۰	1	1
۱/۵	7.86E-01	0.809
۲/۰	6.29E-01	0.634
۲/۵	4.76E-01	0.486
۳/۰	3.69E-01	0.371
۳/۵	2.85E-01	0.281
۴/۰	2.19E-01	0.211
۵/۰	1.18E-01	0.12
۶/۰	6.45E-02	0.068
۷/۰	1.96E-02	0.038
۸/۰	1.49E-02	0.021
۹/۰	1.07E-02	0.012
۱۰/۰	6.35E-03	0.007

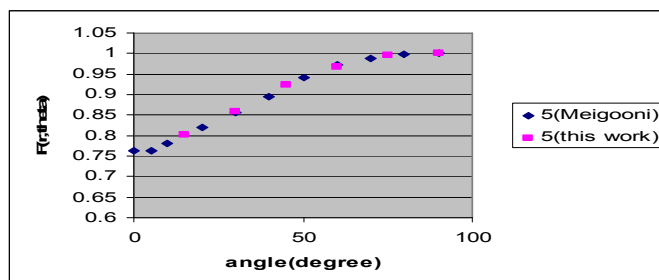
در این تحقیق طول فعال چشمه برای اندازه گیری فاکتور هندسی برابر با $4/2$ میلیمتر در نظر گرفته شد (فاصله ی لبه ی خارجی یکی از کره ها تا لبه ی خارجی کره ی دیگر). تغییرات مقادیر تابع ناهمسانگردی $F(r, \theta)$ در فواصل ۲ تا ۷ سانتی متری بر حسب زوایای $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ شکل های ۳ تا ۶ نشان داده شده است.



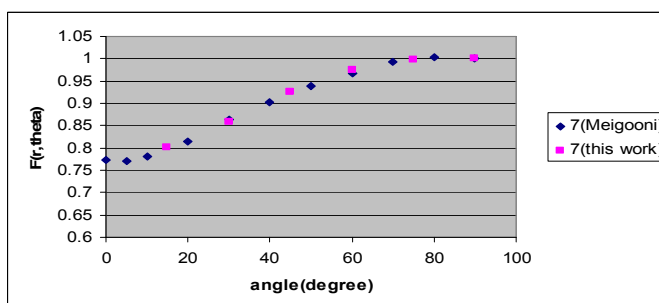
شکل ۳: تغییرات تابع ناهمسانگردی دو بعدی در فاصله ی ۲ سانتی متری از مرکز چشمه بر حسب فاصله



شکل ۴: تغییرات تابع ناهمسانگردی دو بعدی در فاصله ی ۳ سانتی متری از مرکز چشمه بر حسب فاصله



شکل ۵: تغییرات تابع ناهمسانگردی دو بعدی در فاصله ی ۵ سانتی متری از مرکز چشمه بر حسب فاصله



شکل ۶: تغییرات تابع ناهمسانگردی دو بعدی در فاصله ی ۷ سانتی متری از مرکز چشمه بر حسب فاصله

بحث در نتایج

پس از انتشار پروتکل TG-43 ، در سال ۱۹۹۵ بسیاری از نرم افزار های طراحی درمان از این پروتکل در سیستم های خود استفاده می کنند. در این تحقیق پارامتر های دزیمتری چشمه ی پالادیم ۱۰۳ مدل Pd-1 بر اساس این پروتکل و توسط کد MCNP4C به دست آمد و نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات پیشین مقایسه گردید. با داشتن این داده ها می توان توزیع دز در هر فاصله از چشمه های براکی تراپی را به دست آورد.

منابع و مآخذ

- [1]. Meigooni. A. S., Zhang. H, Perry. C, Dini. A. S, Koona. R. A, "Theoretical and experimental determination of dosimetric characteristics for brachyseedTM Pd-103, model Pd-1, source" Applied radiations and isotopes 58,533-541 (2001).
- [2]. Nath. R, Anderson.L.L, Luxton.G, Weaver.K.A, Williamson. J.F and Meigooni. A. S, "Dosimetry of interstitial brachytherapy source: Recommendations of AAPM radiation therapy comitte Task Group No.43" Med. phys. 22, 209- 234 (1995).
- [3]. Wallace, R.E., Fan, J.J., 1999. Dosimetric characterization of a new 103Pd brachytherapy source. Med. Phys. 26, 2465–2470.
- [4]. Chiu-Tsao, S.T., Anderson, L.L., 1991. Thermoluminescent dosimetry for 103Pd seeds (model 200) in solid water phantom. Med. Phys. 18, 449–452.
- [5]. Williamson, J.F., 2000. Monte Carlo modeling of the transverse- axis dose distribution of the model 200 103Pd interstitial brachytherapy source. Med. Phys. 27 (4), 643–654.
- [6]. Meigooni, A.S., Sowards, K., Soldano, M., 2000. Dosimetric characteristics of the InterSource 103palladium brachytherapy source. Med. Phys. 27, 1093–1100.