

دوزیمتری چشمه های براکی تراپی پالادیم-۱۰۳

تعیین تابع دوز شعاعی، تابع ناهمسانگردی و ثابت ناهمسانگردی اولین نمونه دانه‌ی چشمه براکی تراپی پالادیم-۱۰۳ تولید شده در پژوهشکده‌ی تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی با استفاده از TLD-100

غلامرضا رئیس علی^{۱*}، مریم قاسمی غنچه نازی^۲، پروانه شکرانی^۳، مهدی صادقی^۴، ارژنگ شاهره^۵، کورش اربابی^۶

- ۱- دانشیار پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران
 - ۲- کارشناسی ارشد فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
 - ۳- استادیار گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
 - ۴- استادیار پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران
 - ۵- کارشناس پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران
 - ۶- کارشناس ارشد پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران
- تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۸۶/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۶/۱۱/۱۷

چکیده

مقدمه: چشمه‌های براکی‌تراپی با فوتون کم انرژی پالادیم-۱۰۳ برای درمان بدخیمی پروستات استفاده می‌شوند. مطابق با توصیه‌های انجمن فیزیک پزشکی آمریکا^۱ در پروتکل TG-43U1 لازم است، پارامترهای دوزیمتری این چشمه‌ها شامل شدت گرمای هوا، ثابت آهنگ دوز، تابع هندسی، تابع دوز شعاعی و تابع ناهمسانگردی، بطور دقیق تعیین شوند. با توجه به اینکه پژوهشکده‌ی تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران، اولین نمونه‌ی دانه‌ی پالادیم-۱۰۳ را در کشور تولید کرده است، لذا تعیین پارامترهای دوزیمتری این چشمه مطابق با پروتکل TG-43U1 قبل از کاربرد بالینی، لازم و ضروری است.

مواد و روشها: در این تحقیق تابع دوز شعاعی، تابع ناهمسانگردی و ثابت ناهمسانگردی اولین نمونه‌ی دانه‌ی پالادیم-۱۰۳ ساخته شده، با استفاده از دوزیمترهای ترمولومینسانس-^{۱۰۰} در فانتوم پرسپکس اندازه‌گیری شده است. دوزیمترهای ترمولومینسانس به شکل تراشه‌هایی مربعی به ابعاد ۳/۱ میلی‌متر و ضخامت ۰/۹ میلی‌متر می‌باشند که در برابر پرتو گامای کبالت ۶۰ کالبره گردیدند. فانتوم به صورت یک مکعب شامل صفحات پرسپکس طراحی شد و به منظور در نظر گرفتن اثر پرتوهای پراکنده، ابعاد فانتوم ۳۰ سانتی‌متر انتخاب شد. دو نوع فانتوم جامد در این تحقیق ساخته شد. اولین فانتوم برای تعیین تابع دوز شعاعی و دومین فانتوم برای تعیین تابع ناهمسانگردی و ثابت ناهمسانگردی چشمه بکار رفت. توزیع دوز در اطراف چشمه در فانتوم‌ها با استفاده از دوزیمترهای ترمولومینسانس-۱۰۰ توسط دستگاه قرائت‌گر مدل RMKL KFKI اندازه‌گیری شد.

نتایج: با استفاده از روابط تعریف شده در پروتکل TG-43U1 تابع دوز شعاعی، تابع ناهمسانگردی و ثابت ناهمسانگردی تعیین و با کمیت‌های متناظر اندازه‌گیری شده برای چشمه ¹⁰³Pd Best double-wall توسط میگونی و همکارانش در سال ۲۰۰۱ مقایسه شدند. نتایج بدست آمده از این مقایسه در توافق خوبی با یکدیگر می‌باشند.

بحث و نتیجه‌گیری: توزیع دوز فضایی بدست آمده در اطراف چشمه و پارامترهای دوزیمتری تعیین شده، از دیدگاه دوزیمتری، مؤید مناسب بودن چشمه ساخته شده جهت اهداف براکی‌تراپی سرطان پروستات است. (مجله فیزیک پزشکی ایران، دوره ۳، شماره ۱۳، زمستان ۸۵: ۲۴-۱۷)

واژگان کلیدی: براکی تراپی، پارامترهای دوزیمتری، پروتکل TG-43U1، دوزیمتر ترمولومینسانس-۱۰۰

1- ¹⁰³Pd

2- AAPM (American Association of Physicists in Medicine)

3- TLD-100

* نویسنده مسؤول: غلامرضا رئیس علی

آدرس: انتهای خیابان کارگر شمالی، سازمان انرژی اتمی ایران،

پژوهشکده کاربرد پرتوها، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۳۴۸۶

تلفن: ۸۸۲۲۱۲۲۲-۹۸ (۲۱) + graisali@aeoi.org.ir

غلامرضا رئیس علی و همکاران

۱- مقدمه

امروزه درمان بدخیمی‌های چشم، سر و گردن، پستان، دهانه رحم و بویژه پروستات با روش براکی‌تراپی درون نسجی بطور گسترده‌ای افزایش یافته است که این افزایش به دلیل امتیازهایی نظیر سادگی طرز عمل و کاهش اثرات جانبی درمان به روش براکی‌تراپی در مقابل پرتو درمانی خارجی و برداشتن تومور بصورت جراحی است [۱-۵]. از آنجایی که انرژی متوسط پالادیم-۱۰۳، حدود ۲۰ کیلو الکترون ولت^۱ است، توزیع دوز اطراف چشمه به دلیل فیلتراسیون ذاتی و جذب درون چشمه تغییر می‌کند، بنابراین مشخصات دوزیمتری چشمه براکی‌تراپی به ابعاد طراحی شده و مواد بکار رفته وابسته است [۴]. مطابق با توصیه‌های انجمن فیزیکی‌دانهای پزشکی آمریکا در پروتکل TG-43U1 [۶] لازم است پارامترهای دوزیمتری این چشمه‌ها شامل شدت گرمای هوا، ثابت آهنگ دوز، تابع هندسی، تابع دوز شعاعی و تابع ناهمسانگردی بطور دقیق تعیین شوند [۶]. پارامترهای دوزیمتری در فرمول محاسبه دوز دوبعدی (رابطه (۱)) در پروتکل TG-43U1 برای چشمه‌های براکی‌تراپی استوانه‌ای (شکل ۱) به شرح زیر معرفی شده‌اند [۶].

$$\dot{D}(r, \theta) = S_K \Lambda \frac{G_X(r, \theta)}{G_X(r_0, \theta_0)} g_x(r) F(r, \theta) \quad (1)$$

کمیات مورد استفاده در رابطه (۱) به شرح زیر تعریف شده‌اند.

۱- شدت گرمای هوا^۲، S_K

$$S_K = \dot{K}(d) d^2 \quad (2)$$

۲- ثابت آهنگ دوز^۳، Λ

$$\Lambda = \frac{\dot{D}(r_0, \theta_0)}{S_K} \quad (3)$$

۳- تابع هندسی^۴، $G(r, \theta)$

$$G_p(r, \theta) = r^{-2} \quad (4-f)$$

(point-source approximation)

$$G_L(r, \theta) = \begin{cases} \frac{\beta}{Lr \sin \theta} & \text{if } \theta \neq 0^\circ \\ (r^2 - L^2/4)^{-1} & \text{if } \theta = 0^\circ \end{cases} \quad (4-b)$$

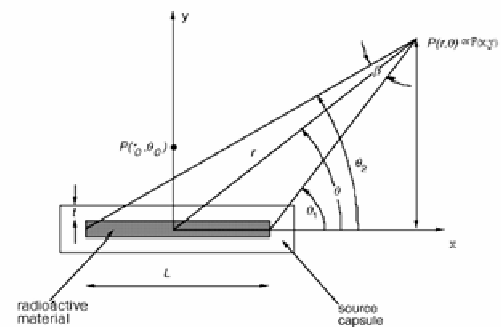
(line-source approximation)

۴- تابع دوز شعاعی^۵، $g(\mathbf{r})$

$$g_x(r) = \frac{\dot{D}(r, \theta_0) G_X(r_0, \theta_0)}{\dot{D}(r_0, \theta_0) G_X(r, \theta_0)} \quad (5)$$

۵- تابع ناهمسانگردی دو بعدی^۶، $F(r, \theta)$

$$F(r, \theta) = \frac{\dot{D}(r, \theta) G_X(r, \theta_0)}{\dot{D}(r, \theta_0) G_X(r, \theta)} \quad (6)$$



شکل ۱- سیستم مختصات و پارامترهای مورد استفاده در محاسبات دوزیمتری چشمه‌های براکی‌تراپی [۶]

- 2- Air-Kerma Strength
- 3- Dose-Rate Constant
- 4- Geometry Function
- 5- Radial Dose Function
- 6- 2D Anisotropy Function

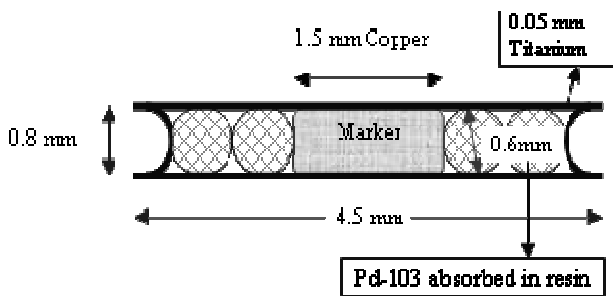
1- keV

دوزیمتری چشمه های براکی تراپی پالادیم-۱۰۳

۲- مواد و روشها

۱-۲- توصیف چشمه

اولین نمونه چشمه دانه‌ای پالادیم-۱۰۳ تولید شده در پژوهشکده‌ی تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی (NRCAM01)، به صورت کپسولی از جنس تیتانیوم با قطر داخلی ۰/۷ میلی متر و قطر خارجی ۰/۸ میلی متر ساخته شده است. طول کپسول ۴/۵ میلی متر و ضخامت انتهای کپسول ۰/۸ میلی متر است. چشمه شامل چهار رزین کروی (گویچه) به قطر ۰/۶ میلی متر است که با توزیع یکنواخت پالادیم فعال شده اند و یک نشانگر مسی استوانه‌ای شکل به ارتفاع ۱/۵ میلی متر و قطر ۰/۶ میلی متر در مرکز چشمه قرار دارد (شکل ۲). با توجه به نحوه توزیع گویچه‌های فعال پالادیم، طول فعال چشمه برابر ۳/۹ میلی متر فرض شده است.



شکل ۲- اولین دانه پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در پژوهشکده‌ی تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی (NRCAM01)

۲-۲- فانتوم

توزیع دوز اطراف چشمه‌های براکی تراپی توسط دوزیمترهای ترمولومینسانس لیتیم فلوراید در فانتوم جامد اندازه‌گیری شد [۷]. این فانتوم بصورت مکعبی شامل صفحات پرسپکس و با استفاده از اطلاعات توصیه شده در زمینه دوزیمتری چشمه های براکی تراپی

کمیت‌های L, r, β و θ در شکل ۱ معرفی شده‌اند و در رابطه (۲)، d فاصله کالیبراسیون و $\dot{K}(d)$ ، آهنگ کرمای هوا در فاصله d از مرکز چشمه است. نقطه مرجع برای محاسبات دوز روی محور نصف کننده چشمه، $(\theta_0 = 90^\circ)$ و در فاصله $r_0 = 1 \text{ cm}$ از مرکز چشمه قرار دارد.

در پروتکل TG-43U1 تابع ناهمسانگردی یک بعدی بصورت رابطه (۷) تعریف می‌شود.

$$\phi_{an}(r) = \frac{\int_0^\pi \dot{D}(r, \theta) \sin(\theta) d\theta}{2\dot{D}(r, \theta_0)} \quad (7)$$

همچنین ثابت ناهمسانگردی، $\bar{\phi}_{an}(r)$ ، بصورت میانگین تابع ناهمسانگردی یک بعدی در فواصل مختلف تعریف می‌شود. فرمول محاسبه ثابت ناهمسانگردی بصورت رابطه (۸) است [۶].

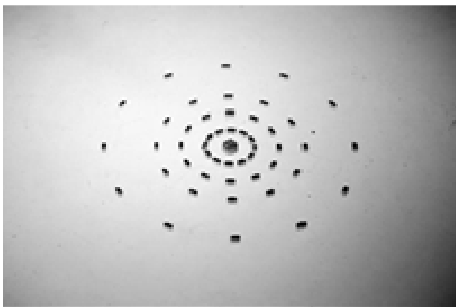
$$\bar{\phi}_{an} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\phi_{an}(r_i)}{r_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i^2}} \quad (8)$$

با توجه به اینکه پژوهشکده‌ی تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، اولین نمونه مدل دانه‌ای چشمه پالادیم-۱۰۳ را در کشور تولید کرده است، لذا تعیین پارامترهای دوزیمتری این چشمه مطابق با پروتکل TG-43U1 قبل از کاربرد بالینی، لازم و ضروری است. در این تحقیق میزان دوز جذبی با استفاده از دوزیمترهای ترمولومینسانس-۱۰۰ در فانتوم پرسپکس اندازه‌گیری شد و تابع دوز شعاعی، تابع ناهمسانگردی و ثابت ناهمسانگردی بر اساس پروتکل TG-43U1 تعیین شدند.

بطور مشابه بدست می‌آید تاثیر آن در محاسبات تابع ناهمسانگردی دو بعدی حذف می‌گردد [۸].



شکل ۳- طرح فانتوم برای محاسبه ثابت آهنگ دوز و تابع دوز شعاعی



شکل ۴- طرح فانتوم برای محاسبه تابع ناهمسانگردی

۳-۲- اندازه‌گیری دوز با استفاده از دوزیمترهای ترمولومینسانس-۱۰۰

در این تحقیق برای کالیبراسیون دوزیمترهای ترمولومینسانس-۱۰۰ از دستگاه کبالت ۶۰ متعلق به آزمایشگاه دوزیمتری استاندارد ثانویه^۲ پژوهشکده‌ی تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی استفاده شد. قبل از هر بار پرتودهی به دوزیمترها، برای آنیل کردن^۳، دوزیمترها به مدت یک ساعت در دمای ۴۰۰ درجه

طراحی گردید [۱۰،۹،۸،۴]. ابعاد فانتوم $30 \times 30 \times 30$ سانتی متر مکعب در نظر گرفته شد تا تمام پرتوهای پراکنده را در برگیرد. نحوه قرار گیری دوزیمترها در فانتوم به گونه‌ای طراحی شد که تاثیر آنها بر یکدیگر به حداقل برسد. دو نوع فانتوم پرسپکس در این تحقیق ساخته شد. اولین فانتوم برای محاسبه ثابت آهنگ دوز و تابع دوز شعاعی طراحی شده است (شکل ۳). این فانتوم شامل سه صفحه پایینی، میانی و بالایی است. چشمه در مرکز هندسی صفحه میانی به گونه‌ای قرار می‌گیرد که محور طولی چشمه ($\theta=0$) بر صفحه میانی عمود باشد. قرص‌های دوزیمتر ترمولومینسانس در سوراخهایی که در صفحه میانی ایجاد شده با آرایش نشان داده شده در شکل ۳، قرار داده می‌شوند. این قرص‌ها به گونه‌ای قرار می‌گیرند که مرکز آنها و مرکز چشمه در یک صفحه قرار داشته باشند [۸]. همچنین قرص‌های دوزیمتر به گونه‌ای در فانتوم جای داده می‌شوند تا اثر سایه^۱ ظاهر نشود. در این تحقیق برای این فانتوم از ۳۶ عدد دوزیمتر در هر اندازه‌گیری استفاده شده است. دومین فانتوم برای اندازه‌گیری تابع ناهمسانگردی چشمه طراحی گردید (شکل ۴). در این فانتوم، چشمه در مرکز هندسی صفحه میانی فانتوم به گونه‌ای قرار می‌گیرد که محور طولی چشمه موازی با صفحه میانی باشد [۸]. دوزیمترها در فواصل شعاعی مختلفی از چشمه و زوایای قطبی صفر تا 360 درجه با فواصل زاویه ای 30 درجه نسبت به محور طولی چشمه قرار می‌گیرند. اثر سایه وابسته به دوزیمترهایی که در زاویه قطبی مشابه و در فواصل شعاعی متوالی قرار می‌گیرند، روی نتایج تأثیری نمی‌گذارند. علت این امر به تعریف تابع ناهمسانگردی مربوط می‌شود که در آن، آهنگ دوز در نقطه (τ, θ) به آهنگ دوز در نقطه $(\tau, \pi/2)$ بهنجار می‌شود. لذا با توجه به اینکه اثر سایه برای هر زاویه‌ای در فاصله شعاعی یکسان

2- SSDL
3- Annealing

1- Shadowing Effect

تصحیح انرژی برابر با ۱/۴ برای چشمه پالادیم با انرژی ۲۰ کیلو الکترون ولت اعمال شد [۱۱،۱].

۲-۴- تعیین پارامترهای دوزیمتری براساس پروتکل TG-43U1

در این تحقیق، جهت افزایش دقت در محاسبات درون یابی و برون یابی تابع‌های دوز شعاعی و ناهمسانگردی، از مقادیر محاسبه شده تابع هندسی با استفاده از کد MCNP4C استفاده شده است [۱۶].

برای تعیین تابع دوز شعاعی، توزیع دوز در فانتوم پلکسی گلاس مطابق با شکل ۳ توسط دوزیمترهای ترمولومینسانس و مطابق با رابطه (۹) اندازه‌گیری شد. تابع دوز شعاعی با استفاده از رابطه (۵) در فواصل ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳، ۴ و ۵ سانتی‌متر تعیین گردید.

برای تعیین تابع ناهمسانگردی دو بعدی و ثابت ناهمسانگردی، توزیع دوز در فانتوم پرسپکس مطابق با شکل ۴ توسط دوزیمترهای ترمولومینسانس و مطابق با رابطه (۹) اندازه‌گیری شد. تابع ناهمسانگردی دو بعدی با استفاده از رابطه (۶) در زوایای ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه و فواصل ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳، ۴ و ۵ سانتی‌متر تعیین گردید. ثابت ناهمسانگردی در پرسپکس با استفاده از رابطه (۸) بدست آورده شد.

۴- نتایج

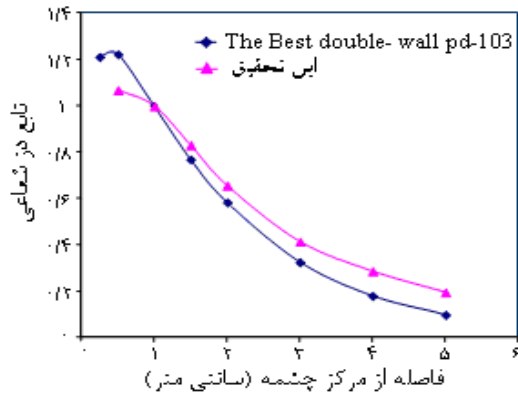
تابع دوز شعاعی با استفاده از رابطه (۵) در فواصل ۰/۵، ۱، ۲/۵، ۳، ۴ و ۵ سانتی‌متر محاسبه شد. نتایج بدست آمده در جدول ۱ آورده شده است. همچنین در نمودار رسم شده در شکل ۵، تابع دوز شعاعی اندازه‌گیری شده در پلکسی گلاس مربوط به دانه NRCAM01 با تابع دوز شعاعی محاسبه شده در فانتوم آب برای چشمه ^{103}Pd Best double-wall توسط میگونی و همکارانش [۵] مقایسه شد. به دلیل جذب متفاوت فوتونهای کم انرژی چشمه پالادیم در دو ماده‌ی مختلف آب و پلکسی گلاس،

سانتی گراد و سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد گرم شدند و سپس تا رسیدن به دمای اتاق سرد شدند. به منظور اندازه‌گیری دوز زمینه از ۴۰ عدد دوزیمتر موجود، ۴ عدد کنار گذاشته شد تا در تمام مراحل پرتودهی، تحت هیچ تابشی قرار نگیرند ولی تحت شرایط محیطی مشابه با بقیه نگهداری شوند. در این تحقیق برای قرائت پاسخ دوزیمترها از دستگاه قرائتگر مدل KFKI RMKI ساخت کشور مجارستان استفاده شد. دوزیمترها پس از انجام مراحل کالیبراسیون و گرمادهی مجدد به همراه چشمه در محل‌های تعبیه شده در فانتوم قرار داده شدند. سپس پاسخ قرص‌های دوزیمترهای ترمولومینسانس-۱۰۰ از نمودارهای نورافشانی^۱ بدست آمد. با بدست آوردن قرائت دوزیمتر در هر آزمون، با استفاده از فرمولهای مربوط به کالیبراسیون و ضریب تصحیح، مقدار دوز جذب شده در هر نقطه بدست آمد [۴،۷،۸]. دوز با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد [۵،۱].

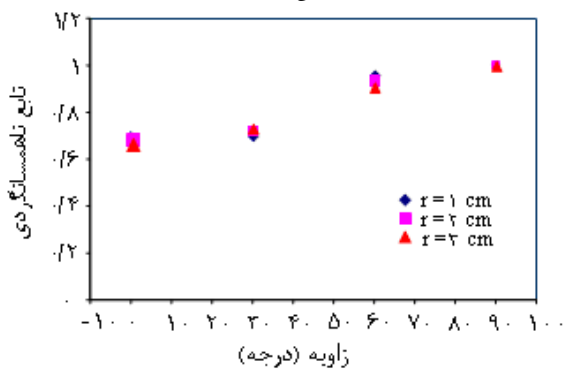
$$\dot{D}(r, \theta) = \frac{R}{C_F \times E_F \times T} \quad (9)$$

در این فرمول $\dot{D}(r, \theta)$ آهنگ دوز در نقطه (r, θ) ، R خوانش دوزیمتر با اعمال ضریب تصحیح تراشه‌های دوزیمترهای ترمولومینسانس^۲ و کسر دوز زمینه، C_F فاکتور کالیبراسیون هر دوزیمتر ترمولومینسانس (شمارش بر سانتی گراد)^۳ برای پرتو کالیبره شده کبالت ۶۰، E_F فاکتور تصحیح انرژی و T زمان آزمایش تصحیح شده برای واپاشی فوتون در مدت زمان پرتودهی قرص‌های دوزیمتر ترمولومینسانس است. فاکتور

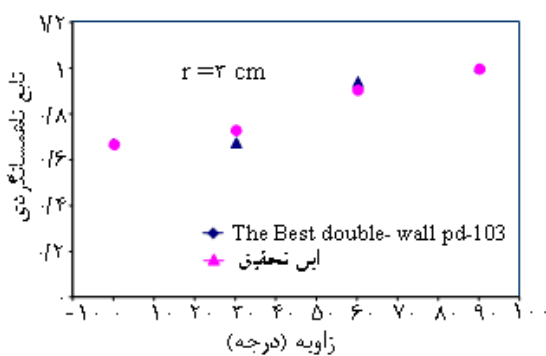
1- Glow Curve
2- Element Correction Coefficient: ECC
3- Count/cGy



شکل ۵- مقایسه تابع دوز شعاعی اندازه‌گیری شده در پرسپکس مربوط به دانه NRCAM01 با تابع دوز شعاعی محاسبه شده در آب چشمه Best double-wall¹⁰³Pd توسط میگونی و همکارانش [۵]



شکل ۶- تغییرات تابع ناهمسانگردی اندازه‌گیری شده در فانتوم جامد با دوزیمتر ترمولومینسانس بعنوان تابعی از فاصله شعاعی از مرکز چشمه در زوایای مختلف برای دانه NRCAM01



شکل ۷- مقایسه تابع ناهمسانگردی اندازه‌گیری شده در پرسپکس در فاصله ۳ سانتی متر از مرکز چشمه مربوط به دانه NRCAM01 با تابع دوز شعاعی محاسبه شده در آب چشمه Best double-wall¹⁰³Pd توسط میگونی و همکارانش [۵]

طیف انرژی چشمه پالادیم در این دو ماده، متفاوت است، لذا تابع دوز شعاعی اندازه‌گیری شده در فانتوم آب و فانتوم پلکسی گلاس با یکدیگر متفاوتند. تفاوت بین تابع دوز شعاعی مربوط به دانه NRCAM01 با چشمه Best double-wall¹⁰³Pd مربوط به تفاوت ساختار داخلی و طراحی چشمه‌ها و تفاوت فانتوم‌های بکار رفته در این دو تحقیق می‌باشد.

جدول ۱- تابع دوز شعاعی اندازه‌گیری شده با دوزیمترهای ترمولومینسانس برای دانه NRCAM01 *

فاصله	تابع دوز شعاعی، g(r)	اندازه گیری شده (در پرسپکس)
۰/۵	۱/۰۷	
۱/۰	۱	
۱/۵	۰/۸۳	
۲/۰	۰/۶۶	
۳/۰	۰/۴۱	
۴/۰	۰/۲۸	
۵/۰	۰/۱۹	

*خطای مقادیر اندازه‌گیری شده حدود ۷٪ است.

تابع ناهمسانگردی دو بعدی با استفاده از رابطه (۶) در زوایای ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه و فواصل ۱، ۱/۵، ۲، ۳، ۴، و ۵ سانتی‌متر محاسبه شد و نتایج بدست آمده در نمودارهای رسم شده در شکل ۶ آورده شده است. همچنین در نمودارهای رسم شده در شکل ۷ تابع ناهمسانگردی دو بعدی مربوط به دانه NRCAM01، با تابع ناهمسانگردی دو بعدی چشمه Best double-wall¹⁰³Pd بدست آمده توسط میگونی و همکارانش در سال ۲۰۰۱ در آب مقایسه گردید. تفاوتها مربوط به تفاوت ساختار داخلی و طراحی چشمه‌ها و تفاوت فانتوم‌های بکار رفته در این دو تحقیق می‌باشد.

دوزیمتری چشمه های براکی تراپی پالادیم-۱۰۳

چشمه های تولید شده توسط سایر محققین [۵، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵] در جدول ۲ مقایسه شده است.

ثابت ناهمسانگردی مربوط به دانه NRCAM01 بصورت رابطه (۸) در پلکسی گلاس محاسبه شده و با ثابت ناهمسانگردی

جدول ۲- مقایسه ثابت ناهمسانگردی (φ_{an}) مربوط به دانه NRCAM01 با چشمه های تولید شده توسط سایر محققین [۵، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵].

مدل چشمه	روش	ماده	φ_{an}
NRCAM01	دوزیمتری با ترمولومینسانس-۱۰۰	پرسپیکس	۰/۹۲
Best ¹⁰³ Pd	دوزیمتری با ترمولومینسانس-۱۰۰	Solid Water TM	۰/۸۹
Best ¹⁰³ Pd	شبیه سازی مونت کارلو	Solid Water TM	۰/۸۸
Best ¹⁰³ Pd	شبیه سازی مونت کارلو	آب	۰/۸۸
MED3633	دوزیمتری با ترمولومینسانس-۱۰۰	RW1	۰/۹۵
MED3633	دوزیمتری با دیود	آب	۰/۹۷
MED3633	شبیه سازی مونت کارلو	آب	۰/۹۲
Model 200	شبیه سازی مونت کارلو	آب	۰/۸۷
Intersource ¹⁰³	دوزیمتری با ترمولومینسانس-۱۰۰	Solid Water TM	۰/۹۰
Intersource ¹⁰³	شبیه سازی مونت کارلو	Solid Water TM	۰/۹۰
Intersource ¹⁰³	شبیه سازی مونت کارلو	آب	۰/۸۹

۵- بحث و نتیجه گیری

همخوانی پارامترهای دوزیمتری دانه NRCAM01 با دیگر چشمه های پالادیم-۱۰۳ که هم اکنون در بخش های پرتودرمانی سراسر دنیا مورد استفاده قرار می گیرند، نشان دهنده مناسب بودن خصوصیات دوزیمتری این چشمه جهت بکارگیری در بخش های پرتودرمانی ایران جهت براکی تراپی سرطان پروستات می باشد (جدول ۲ و شکل های ۵ و ۷).

توزیع دوز اطراف اولین نمونه مدل دانه ای چشمه پالادیم-۱۰۳ تولید شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی در فانتوم پرسپیکس با دوزیمترهای ترمولومینسانس اندازه گیری شد. سپس تابع دوز شعاعی، تابع ناهمسانگردی و ثابت ناهمسانگردی مطابق با پروتکل TG-43U1 تعیین گردید. همچنین پارامترهای دوزیمتری این چشمه با دیگر چشمه های تولید شده توسط سایر محققین [۵، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵] مقایسه شد. نتایج در شکل های ۵ و ۷ و جدول ۲ نشان می دهند که پارامترهای دوزیمتری این دانه ها با یکدیگر همخوانی دارند. تفاوتها مربوط به تفاوت ساختار داخلی و طراحی چشمه ها و تفاوت فانتوم های بکار رفته می باشد.

۶- تشکر و قدردانی

بدین وسیله بر خود لازم می دانیم از آقای سید علی شرافت که در تایپ و کارهای گرافیکی این مقاله ما را یاری نمودند، همچنین از پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران که حمایت مالی این تحقیق را بر عهده داشته است، سپاسگزاریم.

منابع

1. Bernard S, Vynckier S. Dosimetric study of a new polymer encapsulated ^{103}Pd seed. *Phys Med Biol.* 2005; 50: 1493-1504.
2. Meigooni AS, Zhang H, Clark JR, Rachabathula V, Koona RA. Dosimetric characteristics of the new RadioCoil™ ^{103}Pd Wire line source for use in permanent brachytherapy implants. *Med Phys.* 2004;31(11):3095-3105.
3. Reniers B, Vynckier S, Scalliet P. Dosimetric study of a new palladium seed. *Applied Radiation and Isotopes.* 2002; 57: 805-811.
4. Patel NS, Chiu-Tsao S, Williamson JF, Fan P, Duckworth T, Shasha D, Harrison LB. Thermoluminescent dosimetry of the Symmetra ^{125}I model I25.S06 interstitial brachytherapy seed. *Med Phys.* 2001; 28(8):1761-1769.
5. Meigooni AS, Bharucha Z, Yoe-Sein M, Sowards K. Dosimetric characteristics of the best double-wall ^{103}Pd brachytherapy source. *Med Phys.* 2001;28:2568-2575.
6. Rivard MJ, Coursey BM, DeWerd LA, et al. Update of AAPM Task Group No.43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations. *Med Phys.* 2004;31(3):633-674.
7. Meigooni AS. Recent developments in brachytherapy source dosimetry. *Iran J Radiat Res.* 2004; 2(3):97-105.
8. Anagnostopoulos G, Baltas D, Karaiskos P, Sandilos P, Papagiannis P, Sakelliou L. Thermoluminescent dosimetry of the selectseed ^{125}I interstitial brachytherapy seed. *Med Phys.* 2002; 29(5):709-716.
9. Meigooni AS, Yoe-Sein MM, Al-Otoom AY, Sowards KT. Determination of the dosimetric characteristics of the intersource ^{125}I brachytherapy source. *Applied Radiation and Isotopes.* 2002; 56:589-599.
10. Peterson SW, Thomadson B. Measurement of the dosimetric constants for a new ^{103}Pd brachytherapy source. *Brachytherapy source.* 2002; 1: 110-119.
11. Rivard MJ. Monte Carlo calculation of AAPM Task Group Report No.43 dosimetry parameters for the MED3636-A/M ^{125}I source. *Med Phys.* 2001; 28(4):629-637.
12. Wallace RE, Fan JJ. Dosimetric characterization of a new design ^{103}Pd brachytherapy source. *Med Phys.* 1999;26, 2465-2470.
13. Li Z, Palta JR, Fan JJ. Monte Carlo calculation and experimental measurements of dosimetry parameters of a new ^{103}Pd source. *Med Phys.* 2000; 27,1108-1112.
14. Williamson JF. Monte Carlo modeling of the transverse-axis dose distribution of the model 200 ^{103}Pd interstitial brachytherapy source. *Med Phys.* 2000;27,643- 654
15. Meigooni AS, Sowards K, Soldano M. Dosimetric characteristics of the InterSource ^{103}Pd brachytherapy source. *Med Phys.* 2000; 27(5):1093-1100.
16. King RP, Anderson RS, Mills MD. Geometry functions of a linear brachytherapy source. *J Appl Clin Med Phys.* 2001;2(2):69-72.