تعیین پارامترهای دوزیمتری دومین مدل دانه پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، یزشکی و صنعتی

غلامرضا رئیس علی^۱، مهدی صادقی^۲، وحیده عطائی نیا^۳، ارژنگ شاهور[‡]، مریم قاسمی غنچه نازی[°]

۱– دانشیار سازمان انرژی اتمی ایران؛ پژوهشکده کاربرد پر توها، پژوهشگاه علوم و فنون هستهای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران ۲–استادیار سازمان انرژی اتمی ایران؛ پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هستهای، سازمان انرژی اتمی ایران، کرج ۳– دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی هسته ای-پر توپزشکی؛ گروه مهندسی هسته ای، دانشگاه آزاد اسلامی– واحد علوم و تحقیقات، تهران ۴– کارشناس فیزیک؛ پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هستهای، سازمان انرژی اتمی ایران، کرج ۵– دانش آموخته کارشناس ارشد فیزیک پزشکی؛ گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده:۸۷/۳/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/٤/۱۹

چکیدہ

مقدمه: امروزه، کاربرد ایزوتوپ کم انرژی Pd¹⁰³ در براکی تراپی، برای درمان بدخیمیهای پروستات، چشم، سر و گردن، پستان و دهانه رحم افزایش یافته است. در همین راستا، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران، اقدام به طراحی و ساخت انواع مختلف دانه پالادیم-۱۰۳ کرده است. هدف از این تحقیق، انتخاب بهترین دانه از نظر دوزیمتری، برای تولید است. قبل از استفاده بالینی از این دانهها، لازم است مشخصات دوزیمتری آنها بطور دقیق اندازه گیری و محاسبه شود. در این تحقیق پارامترهای دوزیمتری دومین دانه پالادیم-۱۰۲ ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران، تعیین شدهاند.

مواد و روشها: پارامترهای دوزیمتری این دانه شامل ثابت آهنگ دز، تابع هندسی، تابع دز شعاعی، تابع ناهمسانگردی، فاکتور ناهمسانگردی و ثابت ناهمسانگردی بر اساس پروتکل TG43-U1 با روش محاسباتی مونتکارلو (کد MCNP4C) و اندازه گیری با استفاده از دزیمترهای ترمولومینسانس مدل GR200A در فانتوم پرسپکس تعیین شدهاند.

نتایج: ثابت آهنگ دز محاسبه شده با کد MCNP4C در آب برابر با (cGyh⁻¹U⁻¹) ۰/۷۰۶±۰/۰۰ و در فانتوم پرسپکس برابر با (cGyh⁻¹U⁻¹) ۰/۵۰۱±۰/۰۰۱ بدست آمد. با استفاده از تابع هندسی محاسبه شده، تابع دز شعاعی و تابع ناهمسانگردی به روشهای محاسباتی و تجربی در فانتوم آب و پرسپکس تعیین شدند. همچنین ثابت ناهمسانگردی محاسبه شده در آب برابر ۰/۸۸ بدست آمد.

بحث و نتیجهگیری: اختلاف کمتر از ۱۰٪ بین مقادیر بدست آمده از محاسبات مونت کارلو و اندازه گیریهای تجربی نشاندهنده توافق قابل قبول بین برنامه شبیه سازی و اندازه گیری های انجام شده است. همچنین پارامترهای دوزیمتری بدست آمده برای این دانه، با اولین دانه پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی و همچنین با چند مدل جهانی مقایسه شده است. نتایج قابل قبول پارامترهای دوزیمتری دانه های ساخته شده، نشان می دهند که از نظر دوزیمتری می توان از این دانه ها به منظور براکی تراپی استفاده نمود. (مجله فیزیک پزشکی ایران، دوره ۵۰ شماره ۱۰ پیاپی (۱۹٬۱۱)، بهار و تابستان ۲۲:۸۷-۹)

واژگان كليدى: براكى تراپى، دانه پالاديم-١٠٣، پروتكل TG-43U1، محاسبات مونت كارلو، دوزيمترى ترمولومينسانس

*نویسنده مسؤول: غلامرضا رئیس علی آدرس: تهران. انتهای خیابان کارگر شمالی، سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها graisali@aeoi.org.ir تلفن: ۸۸۲۲۱۲۲۲– (۲۱) ۹۸+ دورنگار: ۸۸۲۲۱۲۱۹– (۲۱) ۹۰+

۱- مقدمه

امروزه کاربرد ایزوتوپهای کم انرژی نظیر ید-۱۲۵ و پالادیم-۱۰۳ در براکی تراپی، برای درمان بدخیمیهای پروستات، چشم، سر و گردن و گاهی برای پستان و دهانه رحم افزایش یافته است [۱-٤]. مزایای براکی تراپی نسبت به جراحی، سهولت درمان، آسیب کمتر به بافتهای سالم اطراف [۵،۱] و كاهش اثرات جانبی بعد از عمل برای بیمار است [٥]. مزایای براکی تراپی نسبت به تله-تراپی، قابلیت آن در متمرکز کردن پرتو روی بافت تومور، کمترین پرتودهی به بافتهای سالم اطراف [اووروا] و افت سريع دوز در بافت سالم اطراف تومور مي باشد [۸]. به دلیل اینکه ید–۱۲۵ و پالادیم–۱۰۳ پرتوهای ایکس کم انرژی گسیل میکنند و نیمه عمرنسبتا کوتاهی دارند، می توانند به مدت طولانی و بدون آسیب به بافتهای سالم اطراف تومور یا پرتودهی اضافی به سایر افراد، در بافت بدن باقی بمانند [٦]. پالادیم به علت پایین بودن انرژی فوتونیاش، افت دوز عمقی سریعتری در مقایسه با دیگر ایزوتوپها دارد که در نتیجه دوز رسیده به ارگانهای سالم اطراف تومور کاهش می یابد [۲،۱]. در مقايسه با چشمه يد-١٢٥، حفاظت پالاديم با انرژي حدود ٢١ كيلوالكترونولت سادهتر است. نيمه عمر پالاديم ١٦/٩٩ روز است و ٪۹۵ دوز خود را در حدود ۸ هفته به تومور میرساند. به دليل نيمهعمر كوتاهتر پالاديم-١٠٣ نسبت به يد-١٢٥، استفاده از آن در کاشتهای دائمی از لحاظ بیولوژیکی مناسبتر است، چون دوز با آهنگ بسیار سریعتری می تواند به تومور داده شود [٨]. امروزه در آمریکا، استفاده از چشمه پالادیم، یک سوم درمانهای براکی تراپی با کاشت دائمی را تشکیل میدهد [۲،۱]. در همین راستا، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و

صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران، اقدام به طراحی و ساخت انواع مختلف دانه پالادیم – ۱۰۳ کرده است. قبل از استفاده بالینی از این دانهها لازم است مشخصات دوزیمتری این دانهها بطور دقیق اندازه گیری و محاسبه شود. برای بیان دقیق پارامترهای توزیع دوز چشمههای کمانرژی مورد استفاده در براکی تراپی، از پرو تکل TG-43U1 که شامل فرمولبندی برای محاسبات دوز و مجموعه دادههایی برای پارامترهای دوزیمتری چشمههای و مجموعه دادههایی برای پارامترهای دوزیمتری چشمههای براکی تراپی است، استفاده میشود [۹]. در این تحقیق پارامترهای دوزیمتری دومین دانه پالادیم – ۱۰۳ ساخته شده در پژوهشکده روش محاسباتی مونتکارلو با استفاده از کد MCNP4C و روش تجربی با استفاده از دوزیمترهای ترمولومینسانس مدل روش تجربی با استفاده از دوزیمترهای ترمولومینسانس مدل روش تحربی با استفاده از دوزیمترهای ترمولومینسانس مدل شده، مقایسه شده است.

۲- مواد و روشها ۲-۱- توصيف دانه

دومین نمونه دانه پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی وصنعتی سازمان انرژی اتمی (NRCAM12) (شکل ۱)، به صورت لوله استوانهای شکلی از جنس تیتانیوم با قطر داخلی ۷٫۷ میلیمتر و قطر خارجی ۸٫۹ میلیمتر وطول ٤٫۵ میلیمتر میباشد. کلاهک دانه از جنس تیتانیوم به طول ۲۲۲/۰ میلیمتر و قطر داخلی ۱۹۵۵/۰ میلیمتر و قطر خارجی ۷۸۷/۰ میلیمتر ساخته شده است که زائدهای مخروطی شکل به طول متوسط ۳/۰ میلیمتر دارد. داخل کپسول، پنج رزین کروی به قطر متوسط ۳/۰±۲۲/۰ میلیمتر که پالادیم-۱۰۳ بطور یکنواخت و به صورت حجمی در آنها

 $1 - {}^{125}I$

اندازه گیری تابع ناهمسانگردی چشمه بکار رفت [۱۱]. دوزیمترهای ترمولومینسانس پس از مراحل کالیبراسیون و گرمادهی [۱۰]، به همراه دانه در محلهای تعبیه شده در فانتوم قرار گرفته و پرتودهی شدند. با تکرار اندازه گیریها و بدست آوردن میانگین قرائت دوزیمترها، مقدار دوز جذب شده در هر مکان توسط دوزیمترهای ترمولومینسانس بدست آمد [۱۱،۵۰۲].

$$D(r,\theta) = \frac{\kappa}{CF \times EF \times T \times d(t)} \tag{1}$$

در این فرمول:

(r,θ) آهنگ دوز در نقطه (r,θ)، R خوانش هر دوزیمتر با اعمال ضریب تصحیح مربوط به آن (ECC) و کسر دوز زمینه، CF فاکتور کالیبراسیون هر دوزیمتر (<u>شمارش</u>)^۱ برای پرتو کالیبره شده در میدان کبالت ۲۰ در آزمایشگاه دوزیمتری استاندارد ثانویه پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران، EF فاکتور تصحیح انرژی هر دوزیمتر برای چشمه پالادیم با انرژی متوسط ۲۰ کیلوالکترونولت، T مدت زمان پرتودهی دوزیمترهای ترمولومینسانس و (d(t) فاکتور تصحیح واپاشی چشمه در مدت زمان پرتودهی دوزیمترها میباشد که از رابطه زیر بدست میآید [۱۱]:

$$d(t) = \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda t}$$
 (۲)
در رابطه بالا λ ثابت واپاشی و t زمان واپاشی چشمه میباشد.

- 1- Count/µGy
- 2- SSDL

توزیع شده است، قرار گرفتهاند. رزین، یک نوع ماده آلی با چگالی ۱/۱٤ گرم بر سانتیمتر مکعب و ترکیبات اکسیژن ۹/۰۹٪، هیدروژن ۲۳/۲۳٪، کربن ۱۸/۱۸٪ و نیتروژن ۹/۰۹٪ می باشد.



شکل۱- دومین دانه رزینی پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی وصنعتی سازمان انرژی اتمی ایران

۲-۲-اندازه گیری توزیع دوز اطراف دانه با استفاده از دوزیمترهای ترمولومینسانس

توزیع دوز اطراف دانه پالادیم – ۱۰۳ مدل NRCAM12 در استفاده از دوزیمترهای ترمولومینسانس مدل GR200A در فانتوم پرسپکس اندازه گیری شد. جنس این دوزیمترها از لیتیم فلوراید ترکیب شده با ناخالصیهای منیزیم، مس و فسفر است. دوزیمترهای ترمولومینسانس نوع GR200A به شکل قرصهایی به قطر ۵/۵ میلیمتر و ضخامت ۸/۰ میلیمتر می باشند [۱۰]. فانتوم بصورت حجمی مکعبی به ابعاد ۲۰×۳۰×۲۰ سانتیمتر مکعب شامل ۱۵ صفحه پرسپکس هریک به ضخامت دربر گیرد [۱۱–۱۲]. صفحه میانی صفحهی قرارگیری دانه و دربرگیرد [۱۱–۱۲]. صفحه میانی صفحهی قرارگیری دانه و شده پرسپکس برای صفحه میانی در نظر گرفته شد [۱۰]. اولین فانتوم برای اندازه گیری تابع دوز شعاعی و دومین فانتوم برای

غلامرضا رئيس على و همكاران

۲-۳- محاسبات مونت کارلو

به منظور مقايسه با نتايج تجربي، توزيع دوز اطراف دانه پالاديم-NRCAM12 مدل NRCAM12 با روش محاسباتی مونت کارلو با بکارگیری کد MCNP4C [۱۷] تعیین شد. این کد جذب فوتوالکتریک و تابش اشعه ایکس مشخصـه لایههـای K و L و پراکندگی کامپتون و ریلی را شبیه سازی می کند [۹،۱۱]. دانه پالادیم-۱۰۳ مدل NRCAM12، در مرکز کرهای فرضی از جنس آب به شعاع ۱۵ سانتی متر شبیه سازی شد. فانتوم به سلولهایی محصور بین یوسته های کروی و مخروطی تقسیم شد [۱۸]. ضخامت پوسته های کروی تا فاصله ۱/۵ سانتیمتر ۰/۰۱ سانتیمتر و برای فواصل بیشتر از ۱/۵ سـانتیمتر ۱/۰ سـانتیمتر و ضخامت پوسـتههـای مخروطـی ۱ درجـه در نظـر گرفتـه شـد. بنابراین آشکارسازهای فرضی، آشکارسازهایی حلقوی محدود $r \; \Delta heta$ به پوستههای کروی و مخروطی به ضخامت Δr و ارتفاع $r \; \Delta heta$ هستند. اثر میانگین گیری دوز حجم این سلولها که به دوز یک نقطه منسوب می شود، در مقایسه با خطاهای آماری ناشی از محاسبات MCNP ناچیز و قابل چشمپوشی است [۱۸]. بدلیل کم بودن انرژی چشمه و برد کوتاه الکترونهای ثانویه تولید شده توسط فوتونهای گسیل شده از این چشمه، انتقال الکترونهای ثانویه شبیهسازی نشد و با فرض تعادل الکترونے، کرما با دوز برابر در نظر گرفته شد [۱۱،۱۲]. بیناب انرژی فوتونهای

پالادیم-۱۰۳ در پروتکل TG43-U1 آورده شده است [۹]. برای محاسبه توزیع دوز در آب، با توجه به تحقیق انجام شده توسط رئیسعلی و همکارانش برای محاسبه توزیع دوز ناشی از چشمه ید-۱۲۵ در فواصل مختلف ۲/۰ تا ۱۰ سانتیمتر با تالی های F6، F4 و F8* و نتیجه تقریباً یکسان به دست آمده و نیز این نتیجه که زمان محاسبه دوز با تالی F6 بسیار سریعتر از تالی F8* (حدود ۲۰ برابر) با دقتهای یکسان می باشد [۱۹]،

همچنین با داشتن فرض تعادل الکترونی در آشکارسازهای انتخاب شده در همه فواصل، در این تحقیق محاسبه توزیع دوز در آب با استفاده از تالی F6 با تعداد تاریخچه های ۲۰۱۰×۱/۱ برای رسیدن به خطای کمتر از ۵ درصد انجام شد. بیشترین مقادیر عدم قطعیت در امتداد محور طولی چشمه مشاهده شد. این خطا در فواصل دورتر بیشتر میشود [۲۰]. زمان اجرای برنامه توسط کامپیوتر (R)Intel(R)-Celeron با سرعت ۲/2 گیگاهرتز، برای محاسبه توزیع دوز در آب حدود ۲۰۰ ساعت بود. با استفاده از توزیع دوز محاسبه شده، سایر پارامترهای دوزیمتری دانه بر اساس پروتکل TG43-U1 تعیین شد. در ایس نوشتار از تکرار فرمولهای ارائه شده در پروتکل ایسن نوشتار از تکرار فرمولهای ارائه شده در پروتکل

به منظور مقایسه با نتایج تجربی اندازه گیری شده با دوزیمترهای ترمولومینسانس، توزیع دوز در فانتوم پرسپکس با استفاده از تالی F4 به همراه ضرایب تبدیل شار به دوز در آب که با استفاده از ضرایب جذب انرژی جرمی [۲۱] بدست آمدند، محاسبه گردید. فانتوم پرسپکس (C₅O₂H8) با چگالی ۱/۱۹ گرم بر سانتی متر مکعب شبیهسازی گردید.

برای محاسبه S_k به ازای واحد اکتیویته، با استفاده از کد MCNP4C، دانه در مرکز کرهای از جنس خلأ به شعاع ٦ متر در نظر گرفته شد و کرمای هوا در سلولی به فاصله یک متر از مرکز دانه و در امتداد عمود بر محور دانه با استفاده از تالی F6 محاسبه شد. در برنامه شبیه سازی نوشته شده فوتونهای با انرژی کمتر از ٥ کیلوالکترونولت با استفاده از دستور ELPT حذف شدند. فوتونهای با انرژی کمتر از ٥ کیلو الکترون ولت در دیواره دانه و مجاورت آن در فاصله کمتر از ١/٠ میلیمتر جذب می شوند و تأثیری در میزان دوز جذبی در آب ندارند [۵،۹،۲۲].

در فاصله ۱۰۰ سانتیمتر از مرکز دانه، به کرمای هوا در فاصله یک سانتیمتر بهنجار شد [۵، ۲۵–۲۳].

$$S_K = \dot{K}_{\delta}(d)d^2 \tag{(r)}$$

در رابطه بالا، (d) آهنگ کرمای هوا در فاصله d از مرکز دانه با در نظر گرفتن فوتونهای با انـرژی بیشـتر از δ اسـت کـه مقدار δ در محاسبات ٥ کیلوالکترونولت فرض شده است.

3- نتايج

ثابت آهنگ دوز دانه پالادیم-۱۰۳ تولید شده، در فانتوم آب برابر با (cGyh⁻¹U⁻¹) ۲۰۰۰±۰/۰۰۱ و در فانتوم پرسپکس برابر با (cGyh⁻¹U⁻¹) ۲۰/۰۰۱ در دار واحد ثابت آهنگ دوز، U واحد شدت کرمای هوای مربوط به چشمه است و به صورت IU=1cGycm²h⁻¹ تعریف شده است. تابع هندسی با محاسبهٔ شار حجمی توسط تالی F4 در خال برای فواصل و زوایای مختلف از چشمه تعیین شد. نتایج به



یروی سنه در پر مپاس در بیری مونته کارلو در فانتومهای آب شعاعی محاسبه شده توسط روش مونته کارلو در فانتومهای آب و پرسپکس با مقادیر اندازه گیری شده با دوزیمترهای ترمولومینسانس در فانتوم پرسپکس و تبدیل شده در آب مقایسه گردید و نتایج در شکل ۳ آورده شده است. ضرایب تبدیل اطلاعات تجربی در فانتوم پرسپکس به فانتوم آب از نسبت دوز بدست آمده برای دو فانتوم با شبیه سازی مونت کارلو بدست آمدند. این ضرایب در جدول ۲ ارائه شده اند.



شکل۲- تغییرات تابع هندسی محاسبه شده دانه NRCAM12 ¹⁰³Pd برای فاصلههای مختلف از مرکز دانه برحسب زاویه

اندازهگیری شده با دوزیمترهای ترمولومینسانس در پرسپکس	محاسبه شده با کد MCNP4C در پرسپکس	محاسبه شده با کد MCNP4C در آب	فاصله از مرکز دانه (سانتیمتر)
-	1/1V	۱/۳۳۹ <u>+</u> •/••۱	•/٢٥
1/10±•/17	1/18	۱/۲۳۹ <u>+</u> ۰/۰۰۱	• / ٥
-	\/•V	۱/۱۱۹ <u>+</u> •/••۱	•/\0
$1/\cdot\cdot\pm\cdot/11$	١	۱/••• <u>+</u> •/••۱	١
•/ \ Y±•/• \	•/\lambda	۰/VA۳±۰/۰۰۱	1/0
•/VA <u>+</u> •/•٩	• /V • ٦	・/ ٦・ ۲ <u>+</u> ・/・・ \	۲
۰/٥١ <u>±</u> ۰/۰۹	•/٤٧٣	•/٣٤٨٣±•/•••٤	٣
۰/۳۱ <u>±</u> ۰/۰۹	•/٣•٦	•/19V7 <u>±</u> •/•••Y	٤
۰/۲۰ <u>±</u> ۰/۱٤	•/190	•/ \\\Y±•/ •••Y	٥
-	_	•/•٣٥٤±•/•••1	V

جدول۱- تابع دوز شعاعی اندازه گیری شده و محاسبه شده در فانتوم پرسپکس و آب برای دانه NRCAM12 ¹⁰³Pd.

جدول۲– نسبت دوز محاسبه شده در فانتوم آب به دوز محاسبه شده در فانتوم پرسپکس

	سب درجه)	زاويه (بر حـ		فاصله از مرکز دانه
٩٠	٦٠	٣٠	•	(سانتيمتر)
1/711	۱/٦٠٥	1/781	1/270	•/٢٥
1/037	1/077	1/077	١/٢٦٠	•/0
١/٤٠٨	١/٤ • ٨	1/41	۱/۰۷۰	١
1/242	1/290	1/542	1/•77	١/٥
۱/۲۰۱	1/194	1/171	•/٩٤٣	۲
۱/۰۳۸	1/. 30	1/•1•	٠/٨٥٤	٣
٠/٩٠٨	•/9.0	• /٨٨٤	•/\\\	٤
•/٨٠٢	•//	 /٧٧٩ 	•/٦٥٨	٥



شکل۳– مقایسه تابع دوز شعاعی محاسبه شده با کد MCNP4C در فانتومهای آب و پرسپکس و اندازهگیری شده با دوزیمترهای ترمولومینسانس در فانتوم پرسپکس و تبدیل شده برای آب در فواصل مختلف از چشمه برای دانه NRCAM12 ¹⁰³Pd. خطاها بر حسب σ (انحراف معیار) رسم شده اند.

مختلف، بر حسب فاصله از مرکز دانه نشان میدهد. در نمودارهای رسم شده در شکل ۵ تابع ناهمسانگردی محاسبه شده توسط روش مونت کارلو در فانتومهای آب و پرسپکس با مقادیر اندازه گیری شده با دوزیمترهای ترمولومینسانس در فانتوم پرسپکس و تبدیل شده برای آب مقایسه شده است. اختلاف مقادیرتابع ناهمسانگردی بدست آمده از اندازه گیری و محاسبه ۰/۰٪ تا ۹٪ است. تابع ناهمسانگردی با استفاده از توزیع دوز و تابع هندسی محاسبه شده در آب، بر اساس پروتکل TG43-U1 تعیین شد. نتایج در جدول۳ آمده است. نمودارهای نشان داده شده در شکل ٤-الف تغییرات تابع ناهمسانگردی را در آب، در فاصله های مختلف از مرکز دانه بر حسب زاویه نشان می دهند. نمودارهای نشان داده شده در شکل ٤-ب تغییرات تابع ناهمسانگردی را در آب در زوایای

جدول۳- تـابع ناهمسـانگردی و فـاکتور ناهمسـانگردی محاسـبه شـده در آب مربـوط بـه دانـه NRCAM12¹⁰³Pd. خطـای توابـع ناهمسـانگردی محاسـبه شده در زاویه صفر درجه کمتر از ۱۲٪ و در سایر زوایا کمتر از ۱۱٪است.

فاكتور ناهمسانگردى	زاويه (بر حسب درجه)								فاصله از		
محاسبه شده در آب $arphi_{an}(r)$	٩٠	۸.	٧.	٦٠	٥.	٤٠	۳.	۲.	۱.	•	مرکز دانه (سانتيمتر)
۱/•۲	۱/۰۰۰	٠/٩٩٨	٠/٩٨٩	•/972	•/٩٤٩	•/9.0	۰/۸۳۱	•/702	•/•VA	•/•7٧	•/٢٥
•/٩•٩	۱/۰۰۰	•/٩٩٧	•/٩٨٤	•/977	•/٩٢٦	•//\\0	•/\\4	•/0•V	•/172	•/111	•/0
•//4٢	۱/۰۰۰	•/٩٩٦	•/9/12	•/909	•/971	•/٨٥٢	•/VY \	•/0•9	•/71•	•/101	•/V0
•////٦	۱/۰۰۰	•/٩٩٤	•/9/17	·/90V	•/91V	•/٨٤٥	۰/V۱۸	•/01٨	•/72•	•/1/٣	١
•/\\\0	۱/۰۰۰	•/٩٩٤	•/٩٨٢	•/907	•/910	•/٨٤١	•/VY 1	•/032	•/٢٨٣	•/71٨	١/٥
•///	۱/۰۰۰	•/٩٩٤	•/٩٨١	•/90V	•/912	•/٨٤١	•/VY £	•/0£V	۰/۳۱۱	•/72٣	۲
 /٨٨٦ 	۱/۰۰۰	•/997	•/9/9	•/900	•/910	•//٣٩	•/VYA	•/070	•/٣٤٨	•/۲۹٦	٣
•/\\\	۱/۰۰۰	•/992	•/٩٨•	•/900	•/912	•/٨٤٢	٠/٧٣٥	•/0V٦	•/٣٧٣	•/٣٢٤	٤
•///	۱/۰۰۰	•/990	•/٩٨٢	۰/۹٥۸	•/٩١٦	•/٨٤٦	٠/٧٣٩	•/0\\	•/٣٩٤	•/٣٣•	٥
·//4V	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	•/٩٨٣	•/900	•/91٨	•//00	•/\00	•/٦١٣	•/٤٣٢	•/271	v



شکل٤- تغییرات تابع ناهمسانگردی محاسبه شده در آب برای دانه NRCAM12 : الف) تغییرات تابع ناهمسانگردی محاسبه شده در آب برای فاصلههای مختلف از مرکز دانه برحسب زاویه، ب) تغییرات تابع ناهمسانگردی محاسبه شده در آب برای زوایای مختلف از مرکز دانه برحسب فاصله.

					•
اندازهگیری شده در پرسپکس و تبدیل شده برای آب	محاسبه شده در آب	اندازهگیری شده در پرسپکس	محاسبه شده در پرسپکس	زاویه نسبت به محور طولی دانه (درجه)	فاصله شعاعی (سانتیمتر)
•/72 •	•/٢٤٣	٠/٣٠٥	•/٣١•	•	
•/٦٧٩	·/VYE	•/٧••	۰/٧٤٣	٣.	÷
•/٨٧٢	·/90V	•/۸۷٦	•/٩٥٩	٦.	1
١		١	١	٩.	
•/٢٨٥	•/٢٩٦	•/٣٧٩	۰ /۳۵٥	•	
•/٧٣٢	·/VTA	• / ٨٣٣	 /٧٤٨ 	٣.	~
•/٩٧٧	•/٩٥٥	١/•٨	۰/۹۵۸	٦.	,
١	١	١	١	٩.	
•/٣٥٥	• /٣٣٠	•/٤٣١	• / £ • •	•	
•/\7.	• /٧٣٩	۰/۷۸٤	•/\`00	٣.	•
•/٩٥٩	•/٩٥٨	•/٩٦٢	•/٩٥٩	٦.	5
١	١	١	١	٩.	

جدول٤- مقایسه تابع ناهمسانگردی محاسبه شده با کد MCNP4C در فانتومهای آب و پرسپکس با مقادیر اندازهگیری شده با دوزیمترهای ترمولومینسانس در فانتوم پرسپکس و تبدیل شده برای آب برای دانه NRCAM12¹⁰³Pd

گردید. فاکتور ناهمسانگردی تعیین شده در آب در جدول ۳ آورده شده است. ثابت ناهمسانگردی محاسبه شده در فانتومهای آب و پرسپکس به روش مونتکارلو با مقادیر اندازه گیری شده با دوزیمترهای ترمولومینسانس مقایسه گردید و نتایج در جدول ۵ آورده شده است.

همچنیین مقایسیه نتیایج حاصل از محاسبه تیابع ناهمسانگردی در فانتومهای آب و پرسیکس و نتایج حاصل از اندازهگیری در فانتوم پرسیکس و تبدیل شده برای آب در جدول ٤ آورده شده است. برای دانه NRCAM12 ¹⁰³Pd، فاکتور ناهمسانگردی ($\overline{\phi}_{an}(r)$ تعیین و ثابت ناهمسانگردی ($\overline{\phi}_{an}$) بر اساس پروتکل TG-43 تعیین



شکله- مقایسه تابع ناهمسانگردی محاسبه شده با کد MCNP4C در فانتومهای آب و پرسپکس و اندازهگیری شده با دوزیمترهای ترمولومینسانس در فانتوم پرسپکس و تبدیل شده برای آب برای زوایای مختلف در فاصله های: (الف)۲ سانتیمتر، (ب)۳ سانتیمتر و (ج)ه سانتیمتر برای دانه NRCAM12. خطاها بر حسب σ (انحراف معیار) رسم شده اند.

پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در دنیا که توسط سایر محققین دوزیمتری شدهاند [۲۷،۲۸،۵،۲۹]، در نمودارهای شکلهای ۲-الف و ۲-ب آورده شده است. نمودارها حاکی از این است که دانهی آورده شده است. نمودارها حاکی از این است که دانهی NRCAM 12 ¹⁰³Pd در مقایسه با سایر دانه های جهانی در حد خوبی هستند. بهمنظور مقایسه این دانه با اولین دانه پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی (NRCAM01) که شامل چهار رزین اکتیو و یک نشانگر از جنس مس داخل یک لوله استوانهای از جنس تیتانیوم با قطر خارجی ۸. میلیمتر وطول ۲.۵ میلیمتر با کلاهکهایی فنجانی شکل است [۱۵]، تابع دوز شعاعی و تابع ناهمسانگردی این دانهها و چند دانه

ثابت ناهمسانگردی \overline{arphi}_{an} ۰/۸۸۸ ۰/۸۹۵ ۰/۸۸٦	فانتوم استفاده شده پرسپکس پرسپکس آب	روش دوزیمتری دوزیمتری ترمولومینسانس محاسبات مونته کارلو محاسبات مونته کارلو	مدل دانه NRCAM12 NRCAM12 NRCAM12	
1/7 1/2 1/7 1/7 1/7 1/7 1/7 1/7 1/7 1/7	est® double-wall tersource	محاسبات موتله کارلو فاصله ۱/۲ ساتیمتر از موکز دانه ۱/۲ ب ۱/۲ ب ۱/۲ ب ۱/۲ ب ۲/۲ ۲/۲ ۲ ۲/۲ ۲/۲	NKCAM12	
۲/۲ م ۰ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲ ۲	ebig isoSeed®) RCAM01 RCAM12 ۸ ۱۰ افاصله ا	•/Y • Bebig IsoSeed® • NRCAM01 • NRCAM12 • •/Y •/£ C	۱ ۸/۰ ۲/۰ 620	

جدوله- ثابت ناهمسانگردی (\overline{arphi}_{an})) محاسباتی و اندازه گیری شده مربوط به دانه NRCAM12 NRCAM12.

شکل۲- الف)مقایسه تابع دوز شعاعی محاسبه شده در آب مربوط به دانه NRCAM01 و دانه NRCAM12 با تابع دوز شعاعی محاسبه شده چند دانه پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در دنیا [۲۷،۲۸،۵،۲۹]، ب) مقایسه تابع ناهمسانگردی محاسبه شده در آب در فاصله ۰/۰ سانتیمتر از مرکز چشمه مربوط به دانه NRCAM01 و دانه NRCAM12 با تابع ناهمسانگردی محاسبه شده چند دانه پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در دنیا (۲۷،۲۸،۵،۲۹].

با استفاده از توزیع دوز بدست آمده در فانتوم آب با کد MCNP4C و تالی F6، منحنیهای ایزودوز دانههای NRCAM12 و NRCAM01 رسم شده و در شکل ۷ آورده

شدهاند. محور Z در راستای محور طولی دانه است. اعـداد روی هر منحنی، مقدر دوز مربوط به نقاط واقع روی منحنی است کـه به مقدار دوز بیشینه بهنجار شدهاند.



شکل ۷- منحنیهای ایزودوز رسم شده با استفاده از محاسبات مونت کارلو برای: (الف) دانه NRCAM01 و (ب) دانه NRCAM12

٤- بحث و نتيجه گيري

پارامترهای دوزیمتری دومین چشمه دانه ای پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، توسط محاسبات مونته کارلو و روش تجربی براساس توصیههای پروتکل TG-43U1 تعیین شدند. ثابت آهنگ دوز در فانتوم آب و در فانتوم پرسپکس محاسبه شد. نمودارهای مربوط به تابع هندسی محاسبه شده در شکل ۲ آورده شدهاند. همانطور که از نمودارها برمیآید، در فاصله ۲/۰ سانتیمتر، ترکیب هندسی داخل دانه بر تابع هندسی اثر زیادتری دارد. با توجه به اینکه در محاسبه تابع هندسی جذب و پراکندگی فوتون در ساختمان دانه

و محیط در نظر گرفته نمی شود، یکنواخت تر شدن نمودارها در فواصل شعاعی دور تر ناشی از اثر قانون عکس مجذور فاصله بر روی دوز اطراف دانه می باشد. تابع دوز شعاعی در آب و پرسپکس محاسبه و اندازه گیری شد. اختلاف بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر محاسبه شده مربوط به تابع دوز شعاعی در فاصله دو سانتیمتری و سه سانتیمتری از مرکز دانه به ترتیب ۹٪ و ۷٪ می باشد که این تفاوت می تواند ناشی از خطای اندازه گیری با دوزیمترهای ترمولومینسانس و یا شبیه سازی دانه باشد. در سایر نقاط اختلاف کمتر از ٤٪ مشاهده می شود.

غلامرضا رئيس على و همكاران

NRCAM 01 و NRCAM 12 و NRCAM 01 و NRCAM 01 در شکل ۷ آورده شدهاند. در اطراف محور طولی و خصوصا در شکل ۷ آورده شدهاند. در اطراف محور طولی و خصوصا زاویه صفر درجه، دوز ناشی از دانهی NRCAM 01 ¹⁰³Pd است و این بدلیل ضخامت بیشتر از NRCAM 12¹⁰³Pd است و این بدلیل ضخامت کمتر کلاهکهای دو سر دانه NRCAM 01¹⁰³Pd نسبت به دانه NRCAM 12¹⁰³Pd می باشد. می توان گفت، هرگاه ضخامت کلاهکها بیشتر از ضخامت غلاف دانه باشد باعث تضعیف بیشتر و توزیع زاویهای ناهمسانگرد دوز اطراف دانه خواهد شد.

اختلاف کمتر از ۱۰٪ بین نتایج بدست آمده از محاسبات و اندازه گیری، نشاندهنده سازگاری نتایج برنامه های شبیهسازی و اندازه گیریهای انجام شده در این تحقیق می باشد.

پارامترهای دوزیمتری این دانه با اولین دانه ساخته شده مدل NRCAM 01 و همچنین با دیگر دانههای پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در دنیا مقایسه شد. نتایج نشان میدهند که دانههای NRCAM 01 و NRCAM 12 از نظر خصوصیات دوزیمتری، در حد استانداردهای جهانی می باشند.

شکل ٤-الف تغییرات ترابع ناهمسانگردی را در آب، در فاصله های مختلف از مرکز دانه بر حسب زاویه نشان داده شده است. همانطور که از نمودارها برمی آید، برای همه فواصل، در زاویه صفر درجه ناهمسانگردی بیشترین مقدار را دارد و بتدریج با افزایش زاویه کاهش می یابد. در فاصله ۰/۲۵ سانتیمتر، ترکیب هندسی داخیل دانه بر تابع ناهمسانگردی اثب زیادتری دارد. در فاصله های دورتر، سے پر تو ہای پر اکندہ در آب افرایش مے پابد کے اثر هندسی چشمه را از بین می برد. با اینکه پراکنـدگی در آب تمایل به نرم کردن اثر ساختار هندسی دانه دارد، این اثر کاملا از بین نمی رود و در تابع ناهمسانگردی قابل مشاهده است [۲٦]. نمودارهای نشان داده شده در شکل ٤-ب تغییر ات تیابع ناهمسیانگردی را در آب در زوایهای مختلف، بر حسب فاصله از مرکز دانه نشان میدهد. در زوایای کوچکتر، ناهمسانگردی زیاد و وابستگی محسوسی به فاصله وجود دارد. این وابستگی به فاصله، در زوایای بزرگتر کاهش می یابد.

منابع

- 1. Bernard S, Vynckier S, Dosimetric study of a new polymer encapsulated palladium-103 seed, Phys Med Biol 2005; 50:1493-1504.
- 2. Reniers B, Vynckier S, Scalliet P, Dosimetric study of a new palladium seed, Applid Radiation and Isotopes 2002; 57:805-11.
- 3. Williamson J F, Coursey B M, DeWerd L A, Hanson W F, Nath R, Rivard M J, Recommendations of the American of Physicists in Medicine on Pd-103 interstitial source calibration and dosimetry: Implications for dose specification and prescription, Med Phys 2000; 27(4): 634-42.
- 4. Meigooni A S, Zhang H., Clark J R, Rachabatthula V, Koona R A, Dosimetric characteristics of the new RadioCoil^{TM 103}Pd Wire line source for use in permanent brachytherapy source, Med Phys 2004; 31(11): 3095-105.
- 5. Meigooni A S, Bharucha Z, Yoe-Sein M, Sowards K, Dosimetric characteristics of the Best double-wall ¹⁰³Pd brachytherapy source, Med Phys 2001; 28: 2568-75.

- 6. Cutrer L M, Hollywood N, Calif, Laser welded brachytherapy source and method of making the source, Patent No: U. S. P 5,997,463, 1999; 1-14.
- 7. Nath R, Anderson L L, Meli J A, Olch A J, Stitt J A, Williamson J F, Code of practice for brachytherapy physics: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 56, Med Phys 1997; 24(10), 1557-98.
- 8. Khan F M, The Physics of Radiation Therapy, Ed. William & Wilkins, 1995.
- Rivard M J, Coursey B M, DeWerd L A, Hanson W F, Huq M S, Ibbott G S, Mitch M G, Nath R, Williamson J F, Update of AAPM Task Group No.43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations, Med Phys 2004; 31(3):633-74.
- 10. PTW ,TL Detectors, D577.131.0/2: 1-9,
- 11. Anagnostopoulas G, Baltas D, Karaiskos P, Sandilos P, Papagiannis P and Sakelliou L, Thermoluminescent dosimetry of the selectseed ¹²⁵I interstitial brachythrapy seed, Med Phys 2002; 29(5).
- 12. Patel N S, Chiu-Tsao S, Williamson J F, Fan P, Duckworth T, Shasha D and Harrison L B, Thermoluminescent dosimetry of the Symmetra ¹²⁵I model I25.S06 interstitial brachythrapy seed, Med Phys 2001; 28(8): 1761-69.
- 13. Meigooni A S, Yoe-Sein M M, Al-Otoom A Y, Sowards K T, Determination of the dosimetric characteristics of the intersource ¹²⁵I brachytherapy source, Appl Rad And Isotopes 2002; 56:589-99.
- 14. Peterson S W and Thomadson B, Measurement of the dosimetric constants for a new ¹⁰³Pd brachytherapy source, Med Phys 2002; 1: 110-9.
- 15. Ghonchenazi M G, Determination of dosimetry parameters of Pd-103 source using TLD dosimeters and Monte Carlo simulation method, M. Sc. thesis 1385; Isfahan University of Medical Science.
- 16. Meigooni A S, Recent developments in brachytherapy source dosimetry, Iran J Radiat Res 2004; 2(3): 97-105.
- 17. Briesmeister, Editor J F, MCNP-4C, A General Monte Carlo N Particle Transport Code System Version 4C, Los Alamos National Laboratory LA-13709-M, 2000.
- 18. Rivard M J, A discretized approach to determining TG-43 brachytherapy dosimetry parameters: case study using Monte Carlo calculation for the ¹⁰³Pd MED3633 source, Applied Radiation and Isotopes 2001; 55: 775-82.
- 19. Raisali G, Mokhles Gerami F, Khodadadi R, Piroozfar B, Determination of dosimetry parameters for low energy brachytherapy sources based upon TG43-U1 protocol using different MCNP tallies, J Nuclear Science and Technology 2006; 35:29-36.
- 20. Reniers B, Vynckier S, Scalliet P, Dosimetric study of the new InterSource 125 iodine seed, Med Phys 2001; 28, 2285-88.
- 21. Hubbell, J H, Seltzer, S M, Tables of X-Ray Attenuation Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Elements Z=1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest, Report NISTIR 5632, National Institute of standard and Technology, Gaitherburg, MD, 1995.

- 22. Rivard M J, Monte Carlo calculation of AAPM Task Group Report No.43 dosimetry parameters for the MED3631-A/M ¹²⁵I source, Med Phys 2001; 28(4):629-37.
- 23. Li Z, Palta J R, Fan J J, Monte Carlo calculation and experimental measurements of dosimetry parameters of a new ¹⁰³pd source, Med Phys 2000; 27, 1108-12.
- 24. Meigooni A S, Dini Sh A, Awan Sh B, Dou K, Koona R A, Theoretical and experimental determination of dosimetric characterization for ADVANTAGETM Pd-103 brachytherapy source, Applied Radiation and Isotopes 2006; 64: 881-7.
- 25. Sowards K T, Monte Carlo dosimetric characterization of the IsoAid ADVANTAGE^{TM 103}Pd brachytherapy source, Journal of Applied Clinical Medical Phisics 2007; 8(2): 18-25.
- 26. Capote R, Mainegra E, Lopez E, Anisotropy function for low energy interstitial brachytherapy sources: an EGS4 Monte Carlo study, Phys Med Biol 46, 2001; 135-50.
- 27. Meigooni A S, Sowards K, Soldano M, Dosimetric characteristics of the Intersource ¹⁰³palladium brachytherapy source, Med Phys 2000; 27, 1091-9.
- 28. Daskalov G M, Williamson J F, Monte Carlo-aided dosimetry of the new Bebig IsoSeed^{® 103}Pd Interstitial Brachytherapy Seed, Med Phys 2001; 28(10): 2154-61.
- 29. Williamson J F, Coursey B M, DeWerd L A, Hanson W F, Nath R, Dosimetric prerequisites for routine clinical use of new low energy photon interstitial brachythrapy sources, Med Phys 1998; 25, 2269-70.