(مقالهٔ پژوهشی)

تعیین پارامترهای دوزیمتری چشمهٔ براکی تراپی I-125 (مدل ۶۷۱۱)

منصور ذبیح‌زاده [۱*]، هادی رضایی [۲]، مصطفی فقهی [۳]، سید محمد حسینی [۴]، فواد گلی احمد آباد [۲]

۱-استادیار گروه فیزیک پزشکی.
۲-دانشجوی کارشناسی ارشد.
۳-استاد گروه جراحی چشم.
۴-استادیار گروه رادیوتراپی.

۱ و ۲-گروه فیزیک پزشکی، دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.
۳-بخش چشم پزشکی، بیمارستان امام خمینی (ره)، دانشگاه علوم پزشکی جندی-شاپور اهواز، اهواز، ایران.
۴-بخش رادیوتراپی، بیمارستان گلستان، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.

* نویسندهٔ مسؤول:
منصور ذبیح‌زاده؛ گروه فیزیک پزشکی، دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.
تلفن: ۰۰۹۸۹۱۲۵۰۳۲۲۸۳
Email: zabihzadeh@ajums.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: تعیین دقیق توزیع دوز در اطراف چشمه های مورد استفاده در براکی ترابی بخصوص چشمه‌های کم انرژی به منظور انجام طراحی درمان دقیق بسیار حائز اهمیت است. در این مطالعه پارامترهای دزیمتری چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ با روش شبیه سازی مونت کارلو محاسبه می شود.

روش بررسی: با استفاده از کد شبیه سازی MCNPX (2.6.0) فانتوم همگن آبی به ابعاد $30\ cm^3$ شبیه‌سازی شد. چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ مورد استفاده در براکی تراپی با اعمال جزئیات (مواد و ابعاد قسمت های مختلف و نیز طیف تابشی مربوطه) در مرکز فانتوم جایگذاری شد. با قرار دادن چشمه در یک کره خلاء، S_k محاسبه شد. پارامترهای دزیمتری توصیه شده براساس پروتکل AAPM, TG-43 در این فانتوم محاسبه شد.

یافته ها: قدرت کرمای هوای چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ در واحد اکتیویته 0.557 $cGyh^{-1}U^{-1}$ $cGycm^2h^{-1}mCi^{-1}$ تخمین زده شد. ثابت آهنگ دوز، Λ، برابر با ۰/۸۸۵ بدست آمد. تابع شعاعی دوز،$g(r)$، با معادله درجه پنجم و ضریب همبستگی ۰/۹۹۸۹ بصورت $g(r)= -.0001r^4+0.0026\ r^3-0.0178\ r^2-0.0970\ r+1.0995$ محاسبه شد. معادلات درجه پنجم مربوط به توابع آنیزوتروپی دوز، $F(r,\theta)$، با ضریب همبستگی بزرگتر از 0.99 محاسبه شد.

نتیجه گیری: پارامترهای دزیمتری مطرح شده در پروتکل پیشنهادی AAPM, TG-43 برای چشمه براکی تراپی I-125 مدل ۶۷۱۱ را علارغم پایین بودن انرژی تابشی و تغییرات شدید دوز با فاصله می‌توان با استفاده از کد مونت کارلو MCNPX محاسبه کرد. مقادیر بدست آمده می تواند در نرم افزارهای طراحی درمان براکی تراپی مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژگان: براکی تراپی، چشمهٔ I-125 مدل ۶۷۱۱، شبیه‌سازی مونت‌کارلو، دوزیمتری تشعشعی.

دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۸/۲۹ **دریافت مقاله‌ی اصلاح‌شده: ۱۳۹۲/۱۰/۲۵** **اعلام قبولی: ۱۳۹۲/۱۱/۱۳**

مقدمه

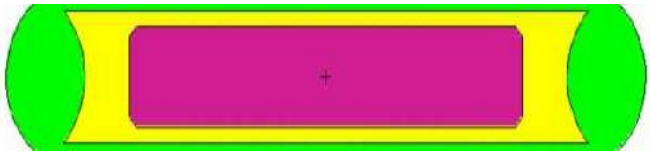
چشمهٔ I-125 به طور گسترده در درمان‌های براکی تراپی برای کاشت‌های دایم پروستات، تومورهای بدخیم چشم، کاشت‌های موقت مغزی و برخی دیگر از انواع سرطانها مورد استفاده قرار می‌گیرد(۱). در این گونه کاربردها معمولاً چند عدد چشمه اطراف هدف مورد نظر قرار می‌گیرند و سعی بر آن است که بیشترین دوز به هدف توموری و کمترین دوز به بافت‌های اطراف برسد (۲). دانستن دقیق توزیع دوز در اطراف این چشمه به دلیل دارا بودن انرژی میانگین پایین و کاهش شدید دوز با فاصله از چشمهٔ I-125 به منظور طراحی درمان دقیق بسیار حایز اهمیت است. اندازه‌گیری عملی دوز این چشمهٔ کم انرژی به‌دلایل مختلف از جمله معادل بافت نبودن کامل دوزیمترها، فقدان وضوح گزارش دوز به‌دلیل ابعاد بزرگ دوزیمترهای رایج در دسترس در بخش‌های رادیوتراپی، وابستگی انرژی این دوزیمترها، معادل بافت نبودن فانتوم-های جامد (مانند پلی‌اتیلن) و غیره با مشکلات عملی متعددی همراه است، لذا استفاده از روش‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو به‌دلیل قابلیت‌های بالای این روش در ترابرد ذرات و عدم مواجه شدن با مشکلات عملی دوزیمتری برای ارزیابی پارامترهای دوزیمتری در کنار اندازه‌گیری‌های عملی می‌تواند نتایج مطلوبی را به همراه داشته باشد (۲، ۳). بر این اساس انجمن فیزیک پزشکی آمریکا (AAPM) گروه TG-43 پروتکلی را به منظور تعیین پارامترهای لازم برای چشمه‌های رادیواکتیو مورد استفاده در براکی تراپی توصیه کرده است که امروزه تقریباً در تمامی نرم‌افزارهای طراحی درمان مورد استفاده قرار گرفته است (۴). وارد نمودن دقیق پارامترهای دوزیمتری مطرح شده در پروتکل AAPM, TG-43 در این نرم‌افزارها برای محاسبهٔ درست توزیع دوز، امری اساسی است. لذا در مطالعه حاضر پارامترهای مذکور برای چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ با استفاده از کد شبیه‌سازی MCNPX (2.6.0) محاسبه خواهد شد.

روش بررسی

در این تحقیق از کد شبیه‌سازی مونت‌کارلو MCNPX(2.6.0) استفاده شده است. برای بدست آوردن نتایج مورد نیاز تالی‌های F6 و F8* برای محاسبهٔ کرما و دوزجذب بکار گرفته شد. انرژی قطع برای فوتون و الکترون به‌ترتیب برابر با ۵ و ۱۰ Kev در نظر گرفته شده است (۵). نتایج با حداکثر خطای کمتر از ۵ درصد برای ترابرد 10^9 فوتون از چشمه گزارش شده است. هیچ تکنیک کاهش خطای دیگری در برنامه‌ها در نظر گرفته نشده است. نتایج حاصل از خروجی کد MCNPX بر حسب (MeV یا MeV/gr) با ضرب در فاکتور تبدیل واحدها و نیز در نظرگیری ثابت واپاشی چشمه ید و تعداد تابش فوتون در هر تلاشی به ازای اکتیویته mCi به دوز تبدیل شدند.

چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ در این مطالعه استفاده شده است. در طراحی این چشمه از یک مارکر نقره‌ای استوانه-ای با دانسیته $10.5\ g/cm^3$، طول 2.8 mm و شعاع 0.254mm استفاده شده است که با ترکیبی از برمید ید (Br_5I_2 با دانسیته $6.245\ g/cm^3$) به ضخامت 2µm پوشیده شده است. طول موثر چشمه 2.8mm است و انتهای چشمه به اندازه 0.045 mm تحت زاویه 5 درجه محدب می‌باشد. این مجموعه درون یک کپسول تیتانیومی با دانسیته $4.54\ g/cm^3$ که به وسیلهٔ گاز آرگون (با دانسیته $1.784m\ g/cm^3$) پر شده است قرار می‌گیرد و انتهای آن با یک نیمکره محدود شده است (شکل ۱). انرژی میانگین چشمه I-125 برابر با 28.37 kev و نیمهٔ عمر آن 59.4 روز می‌باشد (۶).

طیف فوتونی چشمه I-125 بکار رفته در این مطالعه بر اساس گزارش AAPM, TG-43 در جدول ۱ نشان داده شده است (۴).



شکل ۱: چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱: طول چشمه = 22mm ، قطر خارجی = 0.774mm ، قطر داخلی= 0.66mm ، طول مارکر نقره‌ای = 2.8mm، قطر مارکر نقره‌ای =0.508mm.

جدول ۱: طیف فوتونی چشمه I-125 مطابق با گزارش AAPM, TG-43.

تعداد فوتون در هر واپاشی	انرژی فوتون (kev)
0.4060	27.202
0.7570	27.472
0.2020	30.980
0.0439	31.710
0.0668	35.492

بر اساس توصیه‌های AAPM, TG 43 (۴)، آهنگ دوز در یک نقطه مشخص، (r,θ)، نسبت به مرکز چشمه، $D(r,\theta)$، با استفاده از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

(۱)

$$\dot{D}(r,\theta) = S_k \Lambda \frac{G(r,\theta)}{G(r_0,\theta_0)} g(r) F(r,\theta)$$

که r فاصله شعاعی نقطه مورد نظر نسبت به مرکز چشمه، θ زاویه قطبی بین r و محور چشمه، S_K قدرت کرمای هوا، Λ ثابت آهنگ دوز، $G(r,\theta)$ تابع هندسی توزیع فضایی دوز، $F(r,\theta)$ تابع آنیزوتروپی برای توزیع فضایی دوز در زاویه‌ها و شعاع‌های مختلف و $g(r)$ تابع شعاعی دوز در فاصله‌های مختلف عمود بر محور چشمه است. نقطه (r_0,θ_0) نقطه مرجع $(r_0=1\ cm,\ \theta_0=\pi/2)$ برای محاسبات دوز در نظر گرفته می‌شود.

برای محاسبه قدرت کرمای هوای چشمه ابتدا آهنگ کرمای هوا، $\dot{K}(d)$، را در فاصله‌های مختلف (5 تا 100cm) در یک فانتوم هوای خشک محاسبه نموده و با ضرب آن در مجذور فاصله(d^2) قدرت کرمای هوا بدست آید $S_k = \dot{K}(d).d^2$ (۵، ۷).

برای بدست آودن تابع شعاعی دوز چشمه رادیواکتیو را در مرکز یک فانتوم استوانه‌ای حاوی آب قرار می‌دهیم و اطراف آن در فواصل مختلف حلقه‌های هم مرکز با ضخامت‌های متفاوت (افزایش ضخامت متناسب با افزایش فاصله شعاعی) قرار می‌دهیم (۲). در فواصل کمتر از 0.3 cm تا مرکز چشمه ضخامت حلقه‌ها را 0.05 cm، در فواصل بین ۰/۳ تا 1 cm ضخامت ۰/۱ cm، در فواصل بین 1cm تا 10cm ضخامت ۰/۵ cm و در فاصله‌های بزرگتر از 10cm ضخامت حلقه‌ها را 1cm در نظر می‌گیریم. تابع شعاعی دوز از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود (۲, ۷-۹):

$$g(r) = \frac{\dot{D}(r,\theta_0)G(r_0,\theta_0)}{\dot{D}(r_0,\theta_0)G(r,\theta_0)} \qquad (۲)$$

ثابت آهنگ دوز با استفاده از تقسیم آهنگ دوز در فاصله 1cm عمود بر محور چشمه $(r_0=1cm,\ \theta_0=\pi/2)$ بر قدرت کرمای هوا S_K بدست می‌آید (۱, ۸, ۱۰):

$$\Lambda = \dot{D}(r_0,\theta_0)/S_k \qquad (۳)$$

یکی از پارامترهای مهم دوزیمتری برای چشمه‌های استوانه‌ای تابع آنیزوتروپی دوز می‌باشد. با توجه به هندسه چشمه‌های استوانه‌ای آگاهی از توزیع دوز در زوایا و شعاع‌های مختلف نسبت به محور چشمه برای تخمین دقیق دوز حائز اهمیت می‌باشد. برای بدست آوردن این پارامتر چشمه

رادیواکتیو را در مرکز یک فانتوم $30\times30\times30\ cm^3$ حاوی آب قرار داده و در اطراف چشمه در زوایا و فواصل مختلف با استفاده از کره‌هایی به شعاع 0.05cm که مرکز آن در نقطه (r, θ) قرار دارد (۳) و با استفاده از رابطه زیر تابع آنیزوتروپی دوز را در یک نقطه خاص، (r, θ)، محاسبه می‌کنیم:

$$F(r,\theta) = \frac{\dot{D}(r,\theta)G(r,\theta_0)}{\dot{D}(r,\theta_0)G(r,\theta)} \qquad (۴$$

یافته‌ها

با متوسط‌گیری قدرت کرمای هوا از چشمه تا فاصله cm ۱۰۰ در فواصل cm ۱۰، قدرت کرمای هوای چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ در داخل فانتوم آب برای فواصل بین ۱ تا 15cm محاسبه شده است و در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول۲: تابع هندسی دوز برای چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱.

فاصله شعاعی از چشمه (cm)	تابع شعاعی دوز
0.1	1.065
0.15	1.085
0.2	1.073
0.25	1.069
0.3	1.060
0.4	1.056
0.5	1.053
0.6	1.050
0.7	1.042
1	1.000
1.5	0.930
2	0.850
2.5	0.800
3	0.725
3.5	0.633
4	0.553
4.5	0.500
5	0.402
5.5	0.401
6	0.305
6.5	0.294
7	0.228
7.5	0.210
8	0.159
8.5	0.160
9	0.120
9.5	0.100
10	0.090
10.5	0.080
11	0.070
12	0.060
13	0.050
14	0.048
15	0.021

125 مدل ۶۷۱۱ در واحد اکتیویته برابر با $S_K=0.557$ $cGycm^2h^{-1}mCi^{-1}$ محاسبه شد. در برآورد این پارامتر اشعه ایکس مشخصه تولیدی از شیلد تیتانیومی لحاظ شده است.

ثابت آهنگ دوز، Λ، با استفاده از نتایج بدست آمده توسط مونت کارلو و بکار بردن رابطهٔ ۳ برابر با $cGyh^{-1}U^{-1}$ ۰/۸۸۵ بدست آمد.

مقادیر عددی تابع هندسی دوز برای چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ در داخل فانتوم آب برای فواصل بین ۱ تا 15cm محاسبه شده است و در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۳: مقادیر عددی تابع آنیزوتروپی $F(r,\theta)$ چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ برای زوایای صفر تا ۸۵ درجه با اختلاف ۵ درجه و در فواصل یک تا ۱۰ سانتی‌متر در جدول ۳ نشان داده شده است

زاویه (درجه)	فاصله شعاعی (cm)			
	2	3	4	5
5	0.310	0.488	0.512	0.565
10	0.430	0.531	0.641	0.597
15	0.620	0.593	0.676	0.623
20	0.730	0.672	0.746	0.702
25	0.750	0.740	0.792	0.781
30	0.850	0.799	0.835	0.827
۴۰	0.900	0.851	0.901	0.922
۵۰	1.030	0.918	0.955	0.935
۶۰	1.050	0.959	0.985	0.978
۷۰	1.040	0.999	1.020	0.998
۷۵	1.030	1.030	1.050	1.066
۸۰	1.030	1.023	1.060	1.075
85	1.020	1.026	1.050	1.056

بحث

با در نظر گرفتن اشعهٔ ایکس مشخصه تولیدی از شیلد تیتانیومی چشمه، قدرت کرمای هوای چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ در واحد اکتیویته برابر با $0.557\ cGycm^2h^{-1}mCi^{-1}$ محاسبه شد. آقای روریگز (Rodriguez) و همکارانش (۲۰۰۵) در ارزیابی کد Pennelope برای چشمه‌های کم انرژی، قدرت کرمای هوای چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ با در نظر گرفتن اشعهٔ ایکس مشخصه ناشی از کپسول چشمه برابر با $0.557\ cGycm^2h^{-1}mCi^{-1}$ گزارش کردند که دقیقاً برابر نتیجه مطالعه حاضر می‌باشد (۲). بر اساس مطالعه مذکور عدم در نظر گرفتن اشعه ایکس مشخصه می‌تواند منجر به ایجاد خطای غیر قابل قبول در محاسبه کرمای هوا شود چراکه با عدم درنظرگیری تولید اشعهٔ ایکس مشخصه در کپسول تیتانیومی قدرت کرمای هوا برابر با $0.679\ cGycm^2h^{-1}mCi^{-1}$ محاسبه شد که کاهش ۲۲٪ را نشان می‌دهد. بر این اساس همانگونه که در استاندارد اصلاح شده توصیه شده توسط NIST ارائه شده است تمامی داده‌های قدیمی مربوط به کرمای هوا بخصوص برای چشمه‌های کم انرژی باید برای درنظرگیری تاثیر تولید اشعه ایکس مشخصه در کپسول چشمه اصلاح شوند، هر چند که آقای هدجان (Hedtjarn) و همکارانش (۲۰۰۰) برای چشمه I-125 مدل ۶۷۰۲ افزایشی برابر با ۲ تا ۳٪ را به‌دلیل درنظرگیری فاکتورهای اصلاحی توصیه شده توسط NIST گزارش کردند (۱۱). در مقایسه با دیگر مطالعات، قدرت کرمای حاصله در این مطالعه مطابقت بهتری را با مقدار گزارش شده توسط ریوارد (Rivard) و همکارانش (۲۰۰۹) نشان می‌دهد (۶). در مقایسه با دیگر مقادیر گزارش شده، جدول ۲، ثابت آهنگ دوز، Λ، چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ برابر با $۰/۸۸۵\ cGyh^{-1}U^{-1}$ بدست آمد که مابقت خوب را با داده‌های گزارش شده نشان می‌دهد.

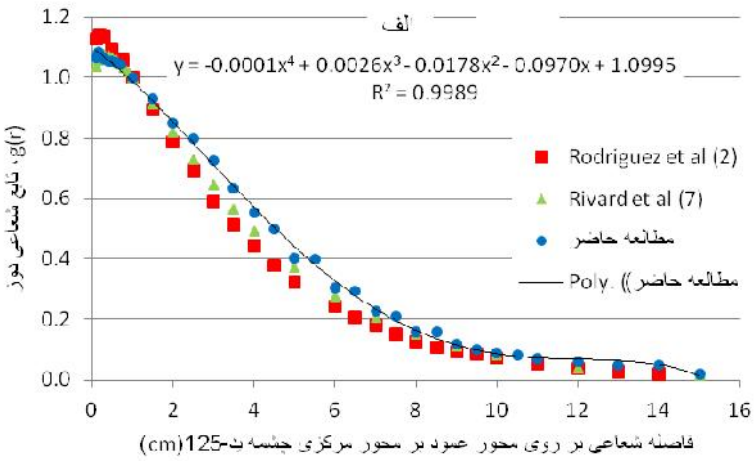
داده‌های مربوط به تابع شعاعی دوز، g(r)، در مقایسه با داده‌های حاصل از مطالعه ریوارد و همکارانش (۲۰۰۹) (۶) و نیز رودیگز و همکارانش (۲۰۰۵) (۲) در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. تابع شعاعی با فرض خطی بودن چشمه با اعمال توابع هندسی محاسبه شده‌اند. همانگونه که از شکل ۲ مشخص است تابع شعاعی دوز با داده‌های گزارش شده ریوارد و همکارانش (۲۰۰۹) (۶) در مقایسه با توابع شعاعی دوز ارائه شده توسط رودیگز و همکارانش (۲۰۰۵) (۲) مطابقت بهتری را نشان می‌دهد. این مطابقت بخصوص در فواصل شعاعی بیشتر (cm ۸<) و نیز در فواصل شعاعی کوچکتر (cm ۱>) بهتر می‌باشد، هرچند در فواصل دورتر خطای محاسبات به‌دلیل کاهش فلوی فوتونی تا حدود ۵٪ افزایش می‌یابد. تفاوت سطح مقطع برهمکنش‌های به‌کار رفته بین کد Penelope که توسط رودیگز و همکارانش (۲۰۰۵) (۲) مورد استفاده قرار گرفته با کد mcnpx (2.6.0) بکار رفته در این مطالعه می‌تواند قسمتی از اختلاف مشاهده شده را ایجاد کند. اختلاف مواد و نیز ابعاد ساختار چشمه، تفاوت طیف بکار رفته چشمه، عدم یکسان بودن انرژی‌های قطع فوتون و الکترون، یکسان نبودن حجم در نظر گرفته شده برای تعریف تالی‌ها و غیره می‌تواند از موارد تاثیرگذار در ایجاد اختلافات مشاهده شده باشد. با توجه به تفاوت کد مونت‌کارلوی بکار رفته در این مطالعه و مطالعه رودیگز و همکارانش (۲۰۰۵) (۲) اختلافات بیشتر است. با فیت کردن معادله درجه ۵ با ضریب همبستگی (رگرسیون، R^2) بالا برابر با ۰/۹۹۸۹ بر داده‌های محاسبه شده برای تابع شعاعی توزیع دوز در تمام فواصل شعاعی تا ۱۵ cm، g(r)، معادله $g(r)= -.0001r^4+0.0026\ r^3-0.0178\ r^2-0.0970\ r+1.0995$ بدست آمد که می‌توان از این معادله برای محاسبه توابع شعاعی دوز برای محاسبه دوز در نرم‌افزارهای طراحی درمان براکی‌تراپی با چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ استفاده کرد.

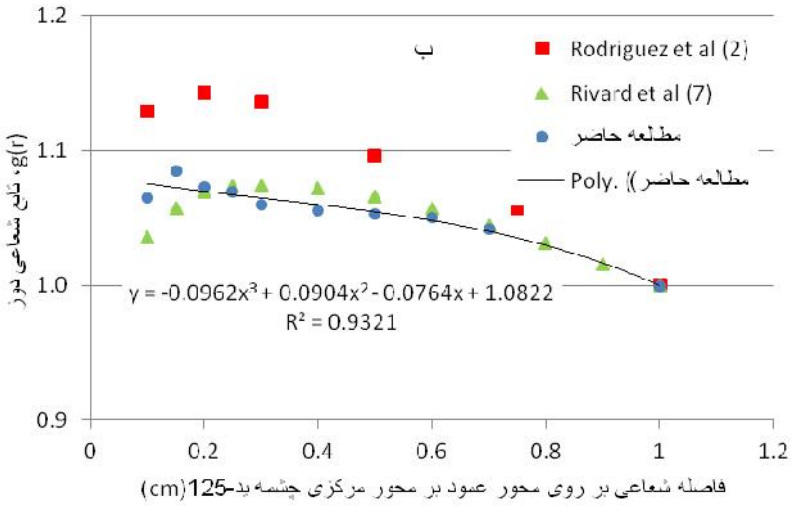
توابع آنیزوتروپی دوز، F(r,θ)، چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ با فرض خطی بودن چشمه در مقایسه با داده‌های ریوارد و همکارانش (۲۰۰۹) (۶) و نیز رودیگز و همکارانش (۲۰۰۵) (۲) برای فواصل مختلف در شکل ۳ (الف–د) نشان داده شده است. توابع آنیزوترپی محاسبه شده چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ در مطالعه حاضر در مقایسه با نتایج ریوارد و همکارانش (۲۰۰۹) (۶) و رودیگز و همکارانش (۲۰۰۵) (۲) به‌ترتیب اختلاف ۰/۳۲٪ و ۰/۲۴٪، ۴/۳٪ و ۸/۴٪، ۲/۷٪ و ۸/۱٪ را برای فواصل شعاعی ۲، ۳، ۴cm نشان می‌دهد. برای فاصلهٔ شعاعی r= ۵ cm در فواصل زاویه‌ای ۰ تا ۹۰ درجهٔ اختلاف ۲/۳٪ و ۴/۷٪ در مقایسه با نتایج ریوارد و همکارانش(۲۰۰۹) (۶) و رودیگز و همکارانش (۲۰۰۵) (۲) حاصل شد، هرچند با افزایش زاویه نسبت به محور چشمه اختلاف کاهش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که عوامل مختلف ایجاد اختلاف (که در بخش توابع شعاعی دوز به آنها اشاره شد) با افزایش فاصلهٔ تاثیر کمتری بر ایجاد اختلاف دوز جذبی ایجاد می‌کنند. بر اساس پروتکل پیشنهادی AAPM, TG-43 (۴) برای محاسبه دوز در سیستم‌های طراحی درمان براکی‌تراپی با استفاده از معادلهٔ شماره ۱ دانستن توابع آنیزوترپی دوز چشمه مورد نظر، F(r,θ)، در هر زاویه نسبت به محور عمود بر محور مرکزی چشمه و در فواصل شعاعی مختلف از مرکز چشمه امری ضروری است. نمایش داده‌های حاضر بصورت معادلات ریاضی می‌تواند دسترسی آسان‌تری به این اطلاعات را فراهم کند. لذا با استفاده از معادله ای از درجه ۵ و گزارش ضریب همبستگی مربوطه، معادلات منحنی‌های توابع آنیزوتروپی دوز بدست آمدند. معادله حاصل از فیت کردن داده های حاصل با استفاده از معادله درجه ۵ و با ضریب همبستگی ۰/۹۹۳۹ برای فاصله شعاعی ۵ cm به‌صورت $F(r,\ \theta)=-3e\text{-}09\theta^5+6e\text{-}07\theta^4-4e\text{-}05\theta^3+.0013\theta^2-0.0028\theta+0.5684$ بدست آمد. بکمک اطلاعات حاصل از این مطالعه می‌توان آهنگ دوز را در هر

نقطه پیرامون چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ را با استفاده از کد شبیه‌سازی MCNPX محاسبه کرد. این داده‌ها برای طراحی و نوشتن سیستم‌های طراحی درمانی که بر اساس روش‌های مونت‌کارلو کار می‌کنند می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند. در مقایسه با نرم‌افزارهایی که صرفاً بر اساس روابط راضی بنا نهاده شده‌اند سیستم‌هایی که بر اساس نرم-افزارهای مونت‌کارلو کار می‌کنند، می‌توانند برای هر بیمار توزیع دوز اختصاصی آن بیمار را با توجه به وضعیت آناتومیکی خاص آن بیمار حساب کنند.

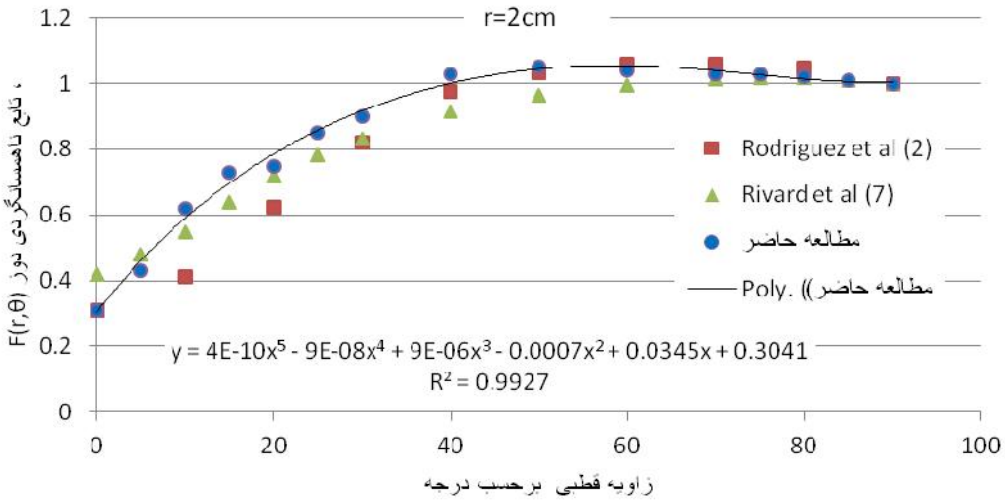
جدول ۲: ثابت آهنگ دوز چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ در مقایسه با نتایج دیگران

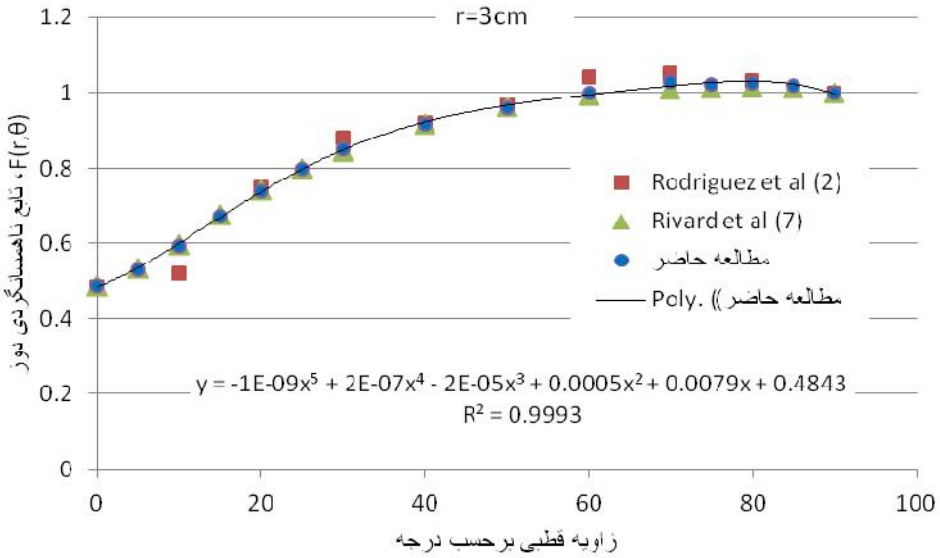
نام مرجع	مدل چشمه	$\Lambda(cGyh^{-1}U^{-1})$
Rivard (2009) (6)	۶۷۱۱	0.904
Rodriguez (2005) (2)	6711	0.867
Mainegra (1998) (12)	۶۷۱۱	۰٫۸۱۰
مطالعه حاضر	6711	۰٫۸۸۷

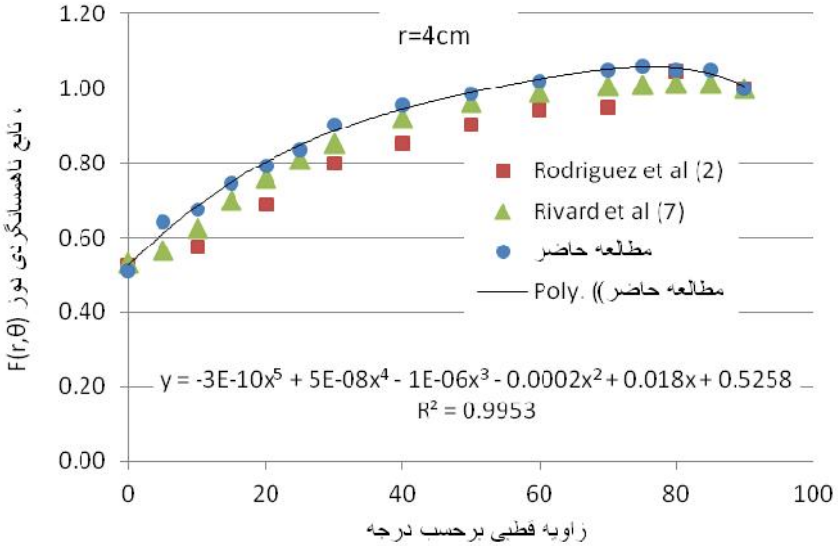


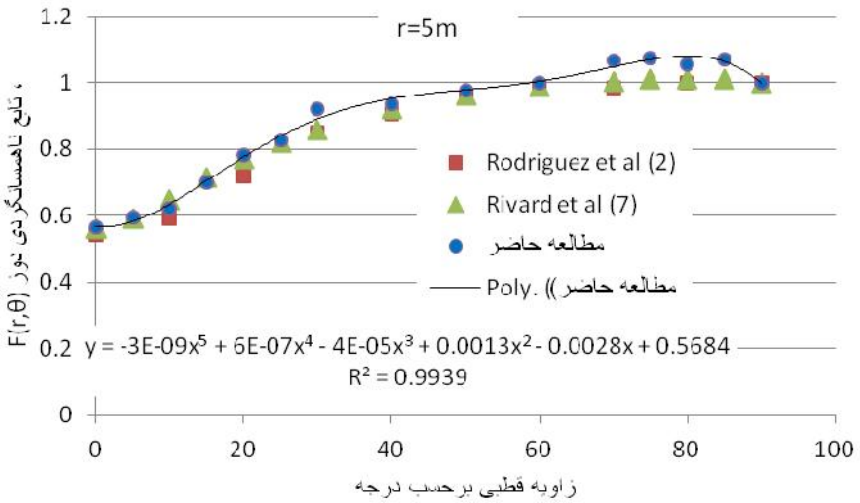


شکل ۲: مقادیر تابع شعاعی دوز برای چشمه I-125 در مقایسه با نتایج Rivard et al (2009) (۶) و Rodriguez et al (2005) (2) : الف) برای فاصله شعاعی تا 15cm، ب) برای فاصله شعاعی تا cm




r=3cm
تابع ناهمسانگردی نور، F(r,θ)
زاویه قطبی برحسب درجه
Rodriguez et al (2)
Rivard et al (7)
مطالعه حاضر
Poly. (مطالعه حاضر)
y = -1E-09x5 + 2E-07x4 - 2E-05x3 + 0.0005x2 + 0.0079x + 0.4843
R² = 0.9993


r=4cm
تابع ناهمسانگردی نور، F(r,θ)
زاویه قطبی برحسب درجه
Rodriguez et al (2)
Rivard et al (7)
مطالعه حاضر
Poly. (مطالعه حاضر)
y = -3E-10x5 + 5E-08x4 - 1E-06x3 - 0.0002x2 + 0.018x + 0.5258
R² = 0.9953



شکل ۳: توابع آنیزوتروپی برای چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ برای فواصل شعاعی مختلف در زاویه‌های مختلف در مقایسه با نتایج دیگران

نتیجه‌گیری

قدرت کرمای هوای، S_K، چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ در واحد اکتیویته برابر با $S_K=0.557\ cGycm^2h^{-1}mCi^{-1}$ است و ثابت آهنگ دوز برابر با Λ=۰/۸۸۷ $(cGyh^{-1}U^{-1})$ بدست آمد. معادله بدست آمده برای تابع شعاعی دوز چشمه I-125 مدل ۶۷۱۱ با معادله درجه ۵ و با رگرسیون ۰/۹۹۸۹ به‌صورت $g(r)= -.0001r^4+0.0026\ r^3- 0.0178\ r^2-0.0970\ r+1.0995$ تخمین زده شد. پارامترهای دوزیمتری مطرحه شده در پروتکل پیشنهادی AAPM, TG-43 (۴) برای چشمه براکی‌تراپی I-125 مدل ۶۷۱۱ را با توجه پایین بودن انرژی تابشی و تغییرات شدید دوز با فاصله می‌توان با استفاده از کد محاسباتی مونت‌کارلو MCNPX محاسبه کرد. مقادیر محاسبه شده برای آهنگ کرمای چشمه، $\dot{K}(d)$، ثابت آهنگ دوز، S_k، توابع شعاعی دوز، g(r)، توابع آنیزوتروپی، f(r, θ) برای چشمه براکی‌تراپی I-125 مدل ۶۷۱۱ می‌تواند در نرم-افزارهای طراحی درمان براکی‌تراپی برای چشمه براکی تراپی I-125 مدل ۶۷۱۱ مورد استفاده قرار گیرد. این داده-ها همچنین برای نرم‌افزارهای طراحی درمان پیشرفته آینده بر اساس مونت‌کارلو بسیار سودمند خواهد بود.

قدردانی

این مطالعه برگرفته از پایان‌نامهٔ دانشجویی مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک پزشکی در گروه فیزیک پزشکی دانشکدهٔ پزشکی است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز تحت طرح تحقیقاتی به شماره IORC-9201 انجام شده است.

منابع

1-Gearheart DM, Drogin A, Sowards K, Meigooni AS, Ibbott GS. Dosimetric characteristics of a new I-125 brachytherapy source. Med Phys 2000;27(10):2278-85.

2-Rodrıguez EA, Alcon EP, Rodriguez ML, Gutt F, de Almeida CE. Dosimetric parameters estimation using PENELOPE Monte-Carlo simulation code: Model 6711 a 125I brachytherapy seed. Appl Radiat Isot 2005;63(1):41–8.
3-Weaver K. Anisotropy functions for I-125 and Pd-103 sources. Med Phys 1998;25(12):2271-8.
4-Rivard MJ, Coursey BM, DeWerd LA, Hanson WF, Huq MS ,Ibbott GS, et al. Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations. Med Phys 2004;31(3):633-74.
5-Awan SB, Dini SA, Hussain M, Soleimani-Meigooni D, Meigooni AS .Cylindrical coordinate based TG-43U1 parameters for dose calculation around elongated brachytherapy sources. J Appl Clin Med Phys 2008;9(2):123-42.
6-Rivard MJ. Monte Carlo radiation dose simulations and dosimetric comparison of the model 6711 and 9011 125I brachytherapy sources. Med Phys 2009;36(2):486-91.
7-Sowards KT, Meigooni AS. A Monte Carlo evaluation of the dosimetric characteristics of the Bests Model 2301 125I brachytherapy source. Appl Radiat Isot 2002;57(3):327–33.
8-Li Z. Monte Carlo calculations of dosimetry parameters of the urocor prostaseed 125I source. Med Phys 2002;29(6):1029-34.
9-Rivard MJ. Comprehensive Monte Carlo calculations of AAPM Task Group Report No. 43 dosimetry parameters for the Model 3500 I-Plant 125I brachytherapy source. Appl Radiat Isot 2002;57(3):381–9.
10-Meigooni AS. Recent developments in brachytherapy source dosimetry. Iran J Radiat Res 2004;2(3):97-105.
11-Hedtjarn H, Carlsson GA, Williamson JF. Monte Carlo-aided dosimetry of the Symmetra model I25.S06 125I, interstitial brachytherapy seed. Med Phys 2000;27(5):1076-85.
12-Mainegra E, Capote R, Lopez E. Dose rate constants for 125I, 103Pd, 192Ir and 169Yb brachytherapy sources: an EGS4 Monte Carlo study. Phys Med Biol 1998;43(6):1557-66.

Dosimetric Parameters Estimation for I-125 (Model 6711) Brachytherapy Source

Mansour Zabihzadeh[1*], Hadi Rezaee [2], Mostafa Feghhi [3], Seyed Mohammad Hosseini [4], Foad Goli Ahmadabadi [2]

1-Assistant Professor of Medical Physics.
2-M.S.C Student of Medical Physics.
3- Professor of Ophthalmology.
4-Assistant Professor of Radiotherapist and Oncologist.

1,2-Department of Medical Physics, School of Medicine, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
3-Department of Ophthalmology, Emam khomani Hospital, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
4-Department of Radiation Therapy, Golestan Hospital, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

**Corresponding author: Mansour Zabihzadeh;Department of Medical Physics, School of Medicine, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.*
Tel:+989125032283
Email: zabihzadeh@ajums.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Determination of dose distribution around the applied sources in brachytherapy especially with low-energy is crucial during establishment of treatment planning. In this study dosimetric parameters of a model 6711 I-125 brachytherapy source were calculated using Monte Carlo simulation method.

Subject and Methods: A homogeneity water phantom with 30 cm^3 dimensions was simulated with MCNPX (2.6.0) code. A model 6711 I-125 brachytherapy source with considering of its details (materials, dimensions and its emitted spectrum) was located in the center of phantom. Air Kerma strength, S_k, of source was calculated with locating source inside the vacuum sphere. Recommended dosimetric parameters by AAPM, TG-43 protocol were calculated for the model 6711 I-125 brachytherapy source in this phantom.

Results: The air kerma strength of the model 6711 I-125 source was estimated as equal to 0.557 $cGycm^2h^{-1}mCi^{-1}$. Dose rate constant was 0.885 $cGyh^{-1}U^{-1}$. The Radial dose function with 5 degree equation and with regression of 0.9989 was estimated by $g(r) = -.0001r^4+0.0026\ r^3-0.0178\ r^2-0.0970\ r+1.0995$. The 5 degree equations for the anisotropy dose functions were calculated with $R^2>0.99$.

Conclusion: In spite of low-energy emission photons and high dose gradients with radial distance, dosimetric parameters of the model 6711 I-125 source can be calculated by MCNPX Monte Carlo code with acceptable accuracy. Calculated parameters for the model 6711 I-125 brachytherapy source can be used for treatment planning systems in brachytherapy.

Keywords: Brachytherapy, Model 6711 I-125 source, Radiation dosimetry, Monte Carlo simulation.

►*Please cite this paper as:*
Zabihzadeh M, Rezaee H, Feghhi M, Mohammad Hosseini S, Goli Ahmadabadi F. Dosimetric Parameters Estimation for I-125 (Model 6711) Brachytherapy Source. Jundishapur Sci Med J 2014;13(2):213-224

Received: Nov 20, 2013 **Revised: Jan 15, 2014** **Accepted: Feb 2, 2014**