

## تعیین پارامترهای دزیمتریک چشمه جدید براکی تراپی ایریدیوم-۱۹۲ توسط دزیمتری گرمالیانی (TLD)

وحید لهرابیان<sup>۱\*</sup>، فرزام کبیری<sup>۱</sup>، شهاب شببانی<sup>۲</sup>، سید محمودرضا آقامیری<sup>۱</sup> و حسین پوریگی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران.

\*تهران، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه پرتوپزشکی، کدپستی: ۱۹۸۳۹-۶۹۴۱۱

پست الکترونیکی: vahidlohrabian@yahoo.com

### چکیده

دانه‌های رادیواکتیو ید-۱۲۵ و ایریدیوم-۱۹۲ به‌طور گسترده برای کاشت درون بافتی استفاده می‌شوند. ایریدیوم-۱۹۲ یکی از مهم‌ترین چشمه‌هایی است که غالباً در براکی‌تراپی استفاده می‌شود. تا کنون چندین مدل تجاری از این نوع چشمه برای کاربردهای آنکولوژی تابش کلینیکی شناخته شده است. هدف از مطالعه حاضر تعیین پارامترهای دزیمتری این مدل چشمه جدید PDR است. مشخصه‌های دزیمتری ایریدیوم-۱۹۲ شامل ثابت آهنگ دز، تابع دز شعاعی و تابع ناهمسان‌گردی دو بعدی در فانتوم پلکسی گلاس با استفاده از TLD تعیین شدند. ثابت آهنگ دز  $0.07 \pm 0.13/1$  به‌دست آمد. نتایج این مطالعه مشخصه‌های دزیمتری این چشمه براکی‌تراپی جدید را نشان داده‌اند که با دیگر چشمه‌های تجاری در دسترس، قابل مقایسه هستند.

کلیدواژه‌گان: دزیمتر TLD، براکی‌تراپی، فانتوم جامد، پارامترهای دزیمتریک، چشمه PDR Ir-192.

### ۱. مقدمه

روش‌های درمان مثل جراحی و تله‌تراپی، کاهش آسیب به قسمت‌های سالم دیگر بافت و از بین رفتن فرصت ترمیم سلول‌های سرطانی است [۱]. چشمه‌های براکی‌تراپی بر اساس آهنگ دز تقسیم‌بندی می‌شوند [۲]. چشمه HDR با آهنگ دز فراتر از ۱۲ گری بر ساعت و چشمه PDR با آهنگ دز در محدوده بین ۰/۵ تا ۱ گری بر ساعت تعریف می‌شود [۲].

براکی‌تراپی یکی از راه‌های درمان تومورهای بدخیم است. براکی‌تراپی با استفاده از چشمه‌هایی که فوتون‌های با انرژی متوسط گسیل می‌کنند، یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای درمان تومورهای مغزی است. از مزایای این روش نسبت به دیگر

و پلاتین که با فلز پلاتین به صورت یک پوشش خارجی احاطه شده است. اکتیویته چشمه مورد استفاده در این تحقیق ۱۴۰ سانتی گری است. روکش فلزی برای جذب پرتوهای بتا در نظر گرفته شد. این چشمه طی فرآیند فعال سازی نوترونی توسط راکتور تحقیقاتی تهران ۵ مگاوات فعال شد. مهم ترین روش واپاشی ایریدیوم- گسیل بتای منفی و انتقال به حالت برانگیخته بوده و برآورد نیمه عمر آن در محدوده بین ۷۳/۸ تا ۷۴/۲ روز قرار دارد.

چشمه مورد استفاده در این تحقیق به صورت شکل ۱ و طیف انرژی فوتون ایریدیوم-۱۹۲ مطابق دستور العمل TG-43 دارای ۸ گاما با فراوانی های مختلف مطابق جدول ۱ است.

جدول (۱): طیف انرژی فوتون های چشمه ایریدیوم.

انرژی فوتون (کیلو الکترون ولت)	فروپاشی به ازای هر واپاشی
۰/۲۹۶	۰/۲۹۰
۰/۳۰۸	۰/۲۹۷
۰/۳۱۷	۰/۸۲۸
۰/۴۶۸	۰/۴۷۸
۰/۴۸۵	۰/۳۱۶
۰/۵۸۹	۰/۰۴۵۲
۰/۶۰۴	۰/۰۸۱۸
۰/۶۱۲	۰/۰۵۳۳

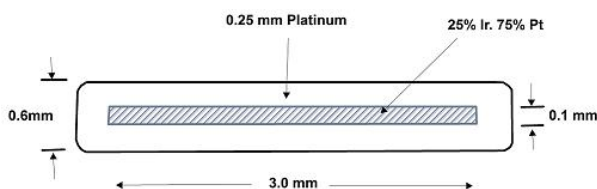
پروتکل مربوط به دزیمتری این چشمه ها تا قبل سال ۱۹۹۵، چشمه های فعال را با تقریب نقطه ای در نظر می گرفت [۲]. چشمه های براکی تراپی از لحاظ ساختار به ندرت کروی بوده و به دلیل خودجذبی تابش در ساختار داخل چشمه، همیشه دارای ناهمسان گردی بوده و به همین دلیل استفاده از تقریب نقطه ای برای این نوع چشمه ها نادرست است [۲]. مطابق پروتکل دزیمتری TG-43 توزیع دز واقعی هر چشمه براکی تراپی از اندازه گیری دز در داخل ماده معادل آب تعیین می شود [۲]. برای به دست آوردن توزیع دز در اطراف هر چشمه براکی تراپی، پروتکل TG-43 روابطی را برای محاسبه دز پیرامون چشمه ها با ساختار واقعی خود (نه با تقریب نقطه ای) و در داخل فانتوم به منظور دست یابی به توابع دزیمتری جدید ارائه کرده است [۳]. توابع جدید با تغییر ساختار چشمه و هندسه آن، همچنین طیف فوتون اولیه و ماده مورد استفاده به عنوان فانتوم تغییر می کنند، بنابراین انواع چشمه ها خصوصیات منحصر به فردی دارند [۳].

در این تحقیق با توجه به رابطه ی پیشنهادی از طرف پروتکل TG-43، پارامترهای دزیمتری یک چشمه براکی تراپی جدید PDR شامل تابع ناهمسان گردی، تابع دز شعاعی و ثابت آهنگ دز مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲. مواد و روش ها

### ۱.۲. مشخصات چشمه

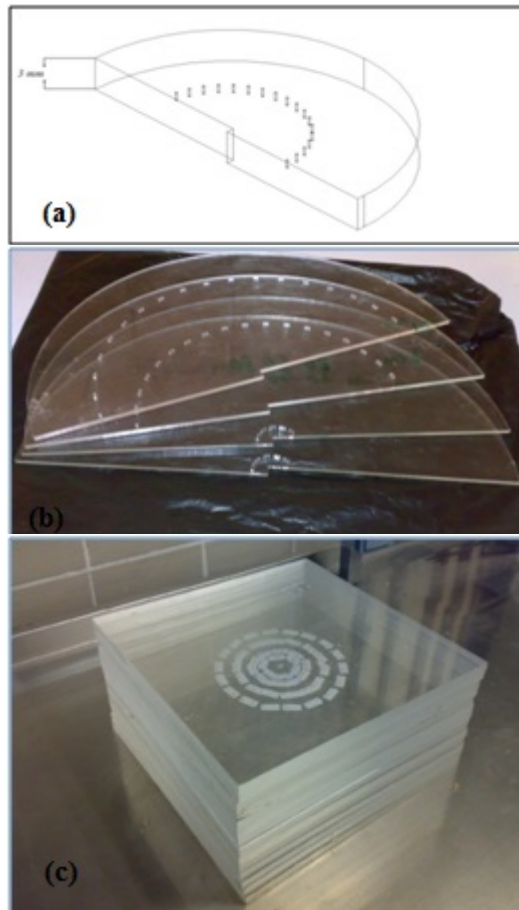
آزمایشات بر روی چشمه ایریدیوم-۱۹۲ انجام گرفت که ساخت سازمان انرژی اتمی ایران می باشد. ابعاد کلی چشمه در حالت کپسول شده ۷/۲ میلی متر طول و ۱/۱۲ میلی متر قطر می باشد. طول قسمت فعال (دانه) ۳ میلی متر و عرض آن ۰/۶ میلی متر می باشد. پیکربندی داخل چشمه شامل یک ضخامت در حدود ۰/۱۵ میلی متر می باشد که ترکیبی از فلزات ایریدیوم



شکل (۱): هندسه چشمه ایریدیوم مورد آزمایش.

## ۲.۲. دزیمتر و فانتوم مورد استفاده

گردیده که کمترین همپوشانی را روی یکدیگر داشته باشند. در طول فرآیند اندازه‌گیری، چشمه و آشکارسازها به کمک قطعاتی مکعبی شکل از جنس پلکسی‌گلاس احاطه شدند تا شرایط پراکندگی کامل (full scattering) برای فوتون‌های ساطع شده به‌طور کامل برقرار گردد. مطابق شکل زیر:



شکل (۲): (a) طرح‌واره یک قسمت از بازل فانتوم، (b) فانتوم برش داده شده، (c) طرح‌واره فانتوم در شرایط آزمایش.

## ۳.۲. ثابت آهنگ دز چشمه (A)

براساس TG-43 تهیه شده در سال ۲۰۰۴ [۸] آهنگ دز بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌گردد:

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

نوع آشکارساز مورد استفاده در این تحقیق LiF:Mg,Ti (TLD-100, Harshaw) به ابعاد  $3 \times 3 \times 0.9$  میلی‌متر مکعب، برای اندازه‌گیری دز در داخل فانتوم، می‌باشد. جهت قرائت نمونه‌ها از آشکارساز با مدل Harshaw 4000 استفاده شد. برای کالیبراسیون آشکارسازها از چشمه کبالت-۶۰ استاندارد موجود در مرکز SSDL کرج استفاده شد.

طراحی و انتخاب یک فانتوم کالیبراسیون یا دزیمتری باید به نحوی صورت پذیرد که:

۱. ابعاد فانتوم به‌طور کامل پوشش‌دهنده فرآیندهای پراکندگی و جذب، به‌وجود آمده باشد.
۲. مواد ساختاری فانتوم باید حتی‌الامکان معادل بافت باشند که با توجه به این امر (از لحاظ عدد اتمی مؤثر) آب، پلی-استیرن، پلکسی‌گلاس و دیگر مواد معادل بافت در ساخت فانتوم دزیمتری کاربرد فراوان دارند.

پلی‌متیل متاکریلات (PMMA) یا پلکسی‌گلاس یکی از چندین نوع مواد با عدد اتمی مؤثر پایین ( $Z_{\text{eff}} = 6.5$ ) است که برای انجام کارهای دزیمتری مناسب است. در این پروژه قسمت میزبان (host) فانتوم از جنس پلکسی‌گلاس که آشکارسازها در آن کاشته می‌شوند به ابعاد  $30 \times 30 \times 0.3$  سانتی‌متر مکعب می‌باشد. تعدادی حفره در قسمت فوقانی فانتوم به گونه‌ای حفره‌گذاری شدند که آشکارسازها به‌صورت عمودی در داخل آن‌ها قرار گیرند. حفره‌های ایجاد شده روی سطح پلکسی‌گلاس در ابتدا با Corel طراحی گردید و سپس با دستگاه لیزر با دقت  $0.1$  میلی‌متر انجام شد. در این حالت گرادیان دز موجود قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد. لازم به ذکر است به منظور اجتناب از اثر هم‌پوشانی آشکارسازها بر روی یکدیگر، حفره‌های ایجادی روی سطح فانتوم طوری طراحی

پس از به دست آوردن و منطبق کردن نقاط صفحه قطبی بر صفحه مختصات، مقادیر  $x$  و  $y$  در روابط زیر قرار می‌گیرد:

$$G(r, \theta) = \frac{1}{r^2} \text{point-source} \quad (6)$$

$$G(r, \theta) = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{x+L/2}{y}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x-L/2}{y}\right)}{Ly} \text{line-source}$$

که در ادامه، جدول مقادیر آن ارائه خواهد شد.

### ۵.۲. تابع دز شعاعی $g(r)$

تابع دز شعاعی، جذب و پراکندگی فوتون در اطراف چشمه را در داخل بافت یا فانتوم در طول محور چشمه نشان می‌دهد. با استفاده از این تعریف و با توجه به AAPM TG43U1، رابطه تابع دز شعاعی به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$g(r) = \frac{\dot{D}(r, \pi/2)G(r, \pi/2)}{\dot{D}(1, \pi/2)G(1, \pi/2)} \quad (7)$$

در این رابطه عبارت‌های  $\dot{D}(r, \pi/2)$  و  $\dot{D}(1, \pi/2)$  مقادیر آهنگ دز در فاصله‌های ۱ و  $r$  سانتی‌متر و زاویه ۹۰ درجه هستند و همچنین عبارت‌های  $G(r, \pi/2)$  و  $G(1, \pi/2)$  مربوط به توابع هندسه در فواصل ۱ و  $r$  سانتی‌متر و زاویه ۹۰ درجه است.

### ۶.۲. تابع ناهمسان‌گردی $F(r, \theta)$

تابع ناهمسان‌گردی تغییرات دز اطراف چشمه به واسطه توزیع رادیواکتیویته داخل چشمه، جذب و پراکندگی فوتون‌ها در محیط فانتوم و تقارن ساختاری چشمه نسبت به زاویه قطبی ۹۰ درجه و فواصل شعاعی مشابه را نشان می‌دهد. این تابع از

که  $S_k$  کرمای هوای چشمه،  $\Lambda$  ثابت آهنگ دز،  $G_L$  تابع هندسه چشمه،  $g_L$  تابع دز شعاعی و  $F$  تابع ناهمسان‌گردی است.

با توجه به تعریف ثابت آهنگ دز که به صورت نسبت آهنگ دز در فاصله ۱ سانتی‌متر و زاویه ۹۰ درجه،  $\dot{D}(1, \pi/2)$  بر قدرت کرمای هوای چشمه تعریف می‌گردد، یکای ثابت آهنگ دز به صورت  $\text{cGy cm}^2 \text{h}^{-1}$  می‌باشد، جایی که واحد قدرت کرمای چشمه با  $U$  نشان داده می‌شود. از آنجایی که تابع دز شعاعی و تابع ناهمسان‌گردی در نقطه ۱ سانتی‌متر و زاویه ۹۰ درجه برابر یک هستند، مطابق با آن رابطه ثابت آهنگ دز (AAPM TG43U1, 2004) به صورت زیر است:

$$\Lambda = \frac{\dot{D}(1, \pi/2)}{S_k} \quad (2)$$

$$1U = 1\mu\text{Gy cm}^2 \text{h}^{-1} = 1\text{cGy cm}^2 \text{h}^{-1} \quad (3)$$

### ۴.۲. تابع هندسه چشمه $G(r, \theta)$

تابع هندسه چشمه بیانگر اثر شکل فیزیکی ماده رادیواکتیو داخل چشمه روی توزیع دز داده شده در یک نقطه می‌باشد. تابع هندسه به وسیله‌ی روابط ارائه شده AAPM (TG43U1) تعریف می‌گردد که در آن روابط  $L$  به صورت طول مؤثر چشمه تعریف می‌شود. در این تحقیق طول مؤثر چشمه  $3/2$  میلی‌متر می‌باشد. برای به دست آوردن توابع هندسه چشمه، باید با استفاده از روابط میان مختصات قطبی و مختصات دکارتی هر نقطه از صفحه قطبی بر یک نقطه از صفحه مختصات  $x$  و  $y$  منطبق شود. مطابق روابط زیر:

$$x = r \cos \theta \quad (4)$$

$$y = r \sin \theta \quad (5)$$

جدول (۲): مدت زمان رسیدن به دز Gy ۷ برای فاصله‌های مختلف.

فاصله (سانتی‌متر)	زمان تابش دهی (ثانیه)
۰/۵	۱۵
۱	۵۵
۲	۲۲۰
۳	۴۹۵
۴	۸۸۰
۵	۱۳۷۵
۶	۱۹۸۰
۷	۲۶۹۵
۸	۳۵۲۰
۹	۴۴۵۵
۱۰	۵۵۰۰

### ۳. نتایج

#### ۱.۳. ثابت آهنگ دز (A)

مقدار به‌دست آمده ثابت آهنگ دز برای چشمه ایریدیوم برابر  $1/13 \pm 0/07$  می‌باشد. این مقدار برای چشمه‌های مختلف متغیر بوده و با تغییر جنس فانتوم، ابعاد فانتوم، جنس ماده کپسول‌کننده، انرژی تابش و اندازه دزیمترها قابل تغییر می‌باشد [۵]. در جدول ۳ مقایسه‌ای میان نتیجه به‌دست آمده و دیگر نتایج مشابه نشان داده شده است.

#### ۲.۳. فاکتور هندسه چشمه G(r,θ)

مقادیر محاسبه شده برای فاکتور هندسی در جدول ۴ گزارش شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش فاصله از چشمه مقادیر فاکتور هندسی کاهش می‌یابد و این مقادیر در فواصل دورتر تقریباً یکسان می‌شوند که نشان‌دهنده تقریب چشمه نقطه‌ای در فاصله‌های دورتر می‌باشد. مقادیر فاکتور هندسی برای زاویه‌هایی که نسبت به محور عمود بر

اندازه‌گیری دز نسبی توسط روابط ارائه شده در AAPM(TG43U1) [۴] به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$F(r, \theta) = \frac{\dot{D}(r, \theta)G(r, \pi/2)}{\dot{D}(r, \pi/2)G(r, \theta)} \quad (8)$$

جایی که  $\dot{D}(r, \theta)$  و  $\dot{D}(r, \pi/2)$  به ترتیب آهنگ دز در فاصله r سانتی‌متر و زاویه  $\theta$  و آهنگ دز در فاصله r سانتی‌متر و زاویه ۹۰ درجه هستند.

در این تحقیق برای انجام آزمایش‌ها برای فواصل کمتر از ۱ سانتی‌متر با توجه به کم بودن فاصله نمی‌توان با برش‌کاری با لیزر تمامی زاویه‌ها را پوشش داد به‌همین دلیل برای فاصله ۵/۰ و ۱ سانتی‌متر به ترتیب ۲ و ۷ سوراخ ایجاد شده تا TLDها در آن قرار داده شوند. برای فواصل بیشتر از ۲ تا ۱۰ سانتی‌متر ۱۷ برش برای قرارگیری عمودی (سطح آشکارساز رو به چشمه) تعبیه شد. در این تحقیق برای صحت آزمایش انجام شده، برای هر فاصله خاص حداقل سه بار تحت بررسی قرار گرفته و در نهایت با میانگین‌گیری از دز به‌دست آمده در هر سه مرحله دز نهایی برای آن فاصله و زاویه خاص گزارش شد. درصد خطای گزارش شده نسبی نیز بر اساس میانگین-گیری از خطاهای به‌دست آمده (از سه مرحله قرارگیری آشکارسازها در هر فاصله خاص) در مقایسه با نتایج به‌دست آمده برای چشمه ایریدیوم حاصل از TG43U1 به‌دست آمده است.

برای این‌که پاسخ آشکارسازهای در فواصل مختلف با یکدیگر قابل مقایسه باشد، باید حد دز و زمان TLDها در مقابل چشمه محاسبه شود. به این صورت برای این‌که همه آشکارسازهای به دز ۷ سانتی‌گری برسند با توجه با اکتیویته ۱۴۰ میلی‌کوری آن، زمان برای فواصل مختلف مطابق جدول ۲ است.

چشمه تقارن دارند و در فاصله یکسانی از چشمه قرار گرفته‌اند. برابر است.

3.3. تابع دز شعاعی  $g(r)$

مقادیر مربوط به تابع دز شعاعی در فواصل 1 تا 10 سانتی-متری در جدول 5 نشان داده شده است. مقایسه میان تابع دز شعاعی حاصل از این پروژه و نتایج مربوط به دزیمتری دیگر چشمه‌های براکی تراپی که مشابه می‌باشد در شکل 3 آمده است. این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از چشمه مقدار تابع دز شعاعی کاهش می‌یابد. اختلاف موجود در نتایج ناشی از تفاوت در ساختار و ابعاد کپسول می‌باشد.

جدول (3): مقایسه میان چشمه ایریدیوم-192 و دیگر چشمه‌های مشابه.

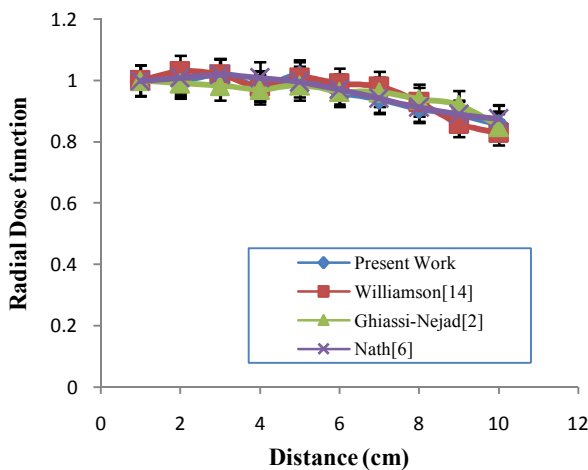
چشمه	فاتوم	روش	ثابت آهنگ دز، $\Lambda$
Williamson [13]	کروی آب	مونت کارلو	$1/128 \pm 0/005$
Nath [6]	Solid Water	ترمولومینسانس (TLD)	$1/120 \pm 0/270$
Weaver [18]	Solid Water	ترمولومینسانس (TLD)	$1/110 \pm 0/150$
Ghiassi-Nejad [2]	Plexiglass	ترمولومینسانس (TLD)	$1/196 \pm 0/060$
Williamson [14]	Solid Water	مونت کارلو	$1/121 \pm 0/003$
Meigooni [4]	Solid Water	ترمولومینسانس (TLD)	$1/084 \pm 0/040$
این تحقیق	Plexiglass	ترمولومینسانس (TLD)	$1/130 \pm 0/007$

جدول (5): مقادیر تابع دز شعاعی چشمه ایریدیوم-192.

فاصله (سانتی‌متر)	تابع دز شعاعی
1	1
2	0/999
3	1/018
4	0/983
5	1/016
6	0/963
7	0/924
8	0/908
9	0/888
10	0/857

جدول (4): مقادیر فاکتور هندسه برای چشمه ایریدیوم-192.

فاصله (سانتی‌متر)	1	3	5	7	9
زاویه (درجه)					
صفر	1/0230	0/1114	0/0408	0/0211	0/0132
10	1/0220	0/1113	0/0407	0/0210	0/0131
20	1/0192	0/1113	0/0405	0/0290	0/0129
30	1/0151	0/1112	0/0405	0/0290	0/0129
40	1/0100	0/1112	0/0404	0/0280	0/0128
50	1/0047	0/1111	0/0402	0/0207	0/0128
60	1	0/1111	0/0401	0/0207	0/0127
70	0/9959	0/1110	0/0399	0/0206	0/0126
80	0/9934	0/1110	0/0399	0/0206	0/0125
90	0/9926	0/1110	0/0399	0/0399	0/0123



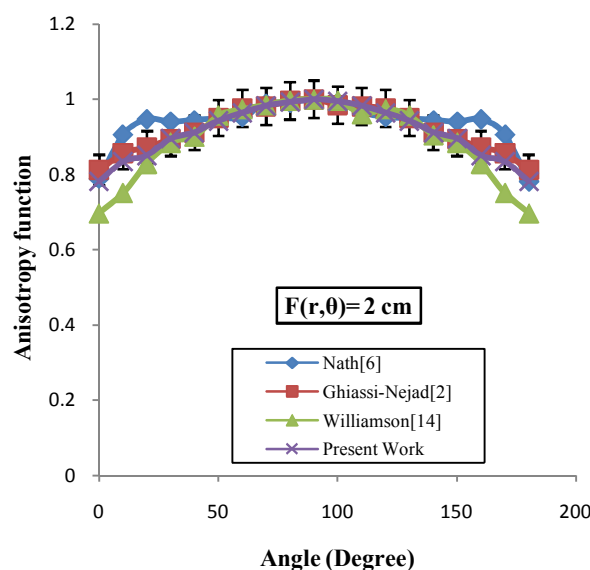
شکل (3): مقایسه مقادیر تابع دز شعاعی با دیگر تحقیقات مشابه.

۴.۳. تابع ناهمسان گردی  $F(r, \theta)$ 

با توجه به وابستگی تابع ناهمسان گردی به زاویه، در زاویه‌های نزدیک به محور موازی چشمه مقدار تابع ناهمسان گردی به کمینه مقدار خود می‌رسد. در جدول شماره ۶ مقادیر تابع ناهمسان گردی با استفاده از آشکارسازها با دیگر تحقیقات مشابه مقایسه شده که نشان از توافق نسبی میان داده‌های این تحقیق و کارهای مشابه دارند.

جدول (۶): مقایسه تابع ناهمسان گردی چشمه ایریدیوم-۱۹۲ با دیگر چشمه‌ها.

زاویه	Williamson [14]	Ghiassi-Nejad [2]	Nath et al [6]	این تحقیق
۰	۰/۶۹۷	۰/۸۱۲	۰/۷۸۸	۰/۷۸۲
۱۰	۰/۷۵۱	۰/۸۵۷	۰/۹۰۶	۰/۸۳۴
۲۰	۰/۸۲۹	۰/۸۷۲	۰/۹۴۷	۰/۸۵۱
۳۰	۰/۸۸۵	۰/۸۹۴	۰/۹۴۱	۰/۸۹۶
۴۰	۰/۹۰۱	۰/۹۱۱	۰/۹۴۵	۰/۹۱۲
۵۰	۰/۹۵۷	۰/۹۵۱	۰/۹۴۹	۰/۹۴۳
۶۰	۰/۹۷۴	۰/۹۷۶	۰/۹۵۳	۰/۹۶۵
۷۰	۰/۹۸۵	۰/۹۸۱	۰/۹۸۹	۰/۹۸۳
۸۰	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	۰/۹۹۱	۰/۹۹۳
۹۰	۱	۱	۱	۱



شکل (۴): مقایسه توابع ناهمسان گردی با دیگر تحقیقات مشابه.

## ۴.۴. بحث و نتیجه گیری

مشخصه‌های دزیمتری چشمه براکی تراپی ایریدیوم-۱۹۲ تولیدی سازمان انرژی اتمی ایران به وسیله فرمول بندی TG-43 در یک فانتوم معادل بافت از جنس پلکسی گلاس به دست آمد. میزان اختلاف (انحراف معیار) داده‌های استخراج شده در این تحقیق با استاندارد TG-43 حداکثر ۱۰٪ اندازه گیری شده است. این اختلاف حاصل از تفاوت‌هایی در اندازه چشمه، جنس فانتوم، محیط و عوامل فردی بوده و توافق مناسبی میان داده‌های این تحقیق و دیگر تحقیقات مشابه را نشان می‌دهد.

در این تحقیق مقدار ثابت آهنگ دز چشمه  $0.07 \pm 0.13$  به دست آمد که با مقادیر حاصل از دیگر تحقیقات مشابه مقایسه شده و توافق مناسبی میان مقادیر مشاهده می‌شود. تابع دز شعاعی،  $g(r)$ ، چشمه ایریدیوم-۱۹۲ به کمک فانتوم‌های مورد مطالعه و آشکارسازهای (TLD) مورد استفاده در زوایای مناسب و فواصل مختلف از ۱ سانتی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر مطابق جدول ۳ به دست آمده است. مقادیر تابع ناهمسان گردی چشمه ایریدیوم-۱۹۲ برای زوایای صفر تا ۱۸۰ درجه و فواصل ۲، ۳ و ۵ سانتی‌متر با دیگر تحقیقات مشابه مقایسه شده که شکل ۴ مربوط به فاصله ۲ سانتی‌متر توافق مناسبی میان این مقادیر را نشان می‌دهد. با توجه به این که طراحی فانتوم و استفاده از دزیمتر TLD مطابق توصیه پروتکل AAPM TG-43 بود، نتایج حاصله نشان‌دهنده آن است که این چشمه جدید از صحت و اعتبار لازم برای استفاده در مقاصد بالینی برخوردار است.

## ۵. تشکر و قدردانی

در پایان، نویسنده لازم می‌داند که از حمایت پژوهشگاه علوم هسته‌ای سازمان انرژی اتمی کمال تشکر و قدردانی را نماید.

## ۶. مراجع

- [1] ICRU, Report 44. Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement. Report 44 Bethesda, MD20814: ICRU Publications, ( 1989).
- [2] M. Ghiassi-Nejad, M. Jafarizadeh, M.R. Ahmadian-Pour , A.R. Ghahramani. Dosimetric characteristics of  $^{192}\text{Ir}$  sources used in interstitial brachytherapy, *Applied Radiation and Isotope* , 55 (2001) 189–195.
- [3] V. Lohrabian, S. Sheibani, M.R. Aghamiri, B. Ghozati, H. Pourbeigi, H.R. Baghani. Determination of Dosimetric Characteristics of IrSeed 125I BrachytherapySource, *Iranian Journal of Med Phys*, 10(3) (2013) 109–117.
- [4] A.S. Meigooni, M.M. Yoe-Sein, A.Y. Al-Otoom, K.T. Sowards. Determination of the Dosimetric characteristics of InterSource $^{125}\text{I}$ odine brachytherapy source, *Applied Radiation and Isotope*, 56 (2002) 589–599.
- [5] A.S. Meigooni, V. Misha, H. Panth, J.F. Williamson. Instrumentation and dosimeter-size artifacts in quantitative thermoluminescentdosimetry of low-dose field, *Med Phys*, 22 (1995) 555–561.
- [6] R. Nath, L.L. Anderson, G. Luxton, K.A. Weaver, J.F. Williamson, A.S. Meigooni. Dosimetry of interstitial brachytherapy source: recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43, *Med Phys*, 22 (1995) 209–234.
- [7] V. Lohrabian, S. Sheibani, M.R. Aghamiri, B. Ghozati, H. Pourbeigi, M. Havasian. Determination ofdosimetric parameters of new brachytherapy seed ( $^{125}\text{Ir}$ Seed) using EBT radiochomic film and TL dosimeters, *Journal of Ilam University of Medical Sciences* 21(1) (2013) 78–88.
- [8] M.J. Rivard, B.M. Coursey, L.A. DeWerd, W.F. Hanson, M. SaifulHuq, G.S. Ibbott, M.G. Mitch, R. Nath, J.F. Williamson. Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations, *Med Phys*, 31 (2004) 633–674.
- [9] G. Raisali, F. MokhlesGerami, R. Khodadadi, B. Piroozfar. Determination of dosimetry parameters for low energy brachytherapy sources based upon TG-43U1 protocol using different MCNP tallies, *J Nuclear Science and technology*, 35 (2006) 29–36.
- [10] T.D. Solberg, J.J. DeMarco, G. Hugo, R.E. Wallace. Dosimetric parameters of three new solid core I-125 brachytherapy source, *Med Phys*, 3(2) (2004) 119–134.
- [11] R.E. Wallace, J.J. Fan. Report on the dosimetry of a new design  $^{125}\text{I}$  brachytherapy source, *Med Phys*, 26(9) (1999) 1925–1931.
- [12] J.F. Williamson. Comparison of measured and calculated dose rates in water near  $^{125}\text{I}$  and  $^{192}\text{Ir}$  seeds, *Med Phys*, 18(4) (1991) 776–785.
- [13] J.F. Williamson, A.S. Meigooni. Quantitative dosimetry methods in brachytherapy: in brachytherapy physics, edited by Williamson JF, Nath R, and Thomadsen R, *Med Phys*, (1995) 87.
- [14] J.F. Williamson. Comparison of measured and calculated dose rates in water near 125I and 192Ir seeds, *Med. Phys*, 18 (1991) 776.
- [15] J.F. Williamson. Comparison of measured and calculated dose rates in water near I-125 and Ir-192 seeds, *Med Phys*, 18(4) (1991) 776–86.
- [16] M.J. Zelefsky, W.F. Whitmore. Long-term results of retropubic permanent  $^{125}\text{I}$ odine implantation of prostate for clinically localized prostatic cancer, *J. Urol. (Paris)*, 158 (1997) 23–30.
- [17] H.R. Baghani, V. Lohrabian, M.R. Aghamiri, M. Robatjazi. Monte Carlo Determination of Dosimetric Parameters of a new 125I brachytherapy source According to AAPM TG-43U1 protocol, *Archives of Iranian Medicine*, 19(3) (2016) 186–91.
- [18] K. Weaver, V. Smith, D. Huang, C. Barnett, M. Schell, C. Ling. Dose parameters of 125I and 192Ir seeds, *Med. Phys*, 16 (1989) 636.