

تعیین پارامترهای دزیمتری یک چشمه طراحی شده جدید ^{125}I با مارکر $\text{Ag} + \text{Al}_2\text{O}_3$

در فانتوم آب

اکرم اسلامی باباحیدری* و مجتبی شمسایی ظفرقندی

دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

* تهران، پل حافظ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک، کد پستی: ۱۵۹۱۶-۳۴۳۱۱

پست الکترونیکی: a_eslamii@yahoo.com

چکیده

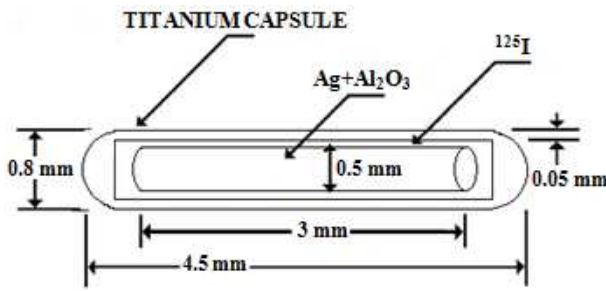
از آنجاکه چشمه‌های رادیواکتیو در براکی‌تراپی، نقش عمده‌ای در درمان تومورهای بدخیم موضعی ایفا می‌کند، یک چشمه جدید ^{125}I طراحی شده است. چشمه کپسولی از جنس تیتانیوم و حاوی استوانه‌ای از ترکیب نقره و اکسید آلومینیم است. روی این استوانه ید قرار گرفته است. چشمه در مرکز فانتومی کروی قرار گرفته و با شبیه‌سازی مونت کارلو، کد MCNPX ver. ۲/۶ ویژگی‌های دزیمتری آن، از جمله شدت کرمای هوا، ثابت نرخ دز و تابع دز شعاعی و تابع ناهمسانگردی مطابق با دستورالعمل TG-43 U1 به دست آمد. ثابت نرخ دز $0.98 \pm 0.12 \text{ cGyh}^{-1}\text{U}^{-1}$ اندازه‌گیری شد و ویژگی‌های دزیمتری آن با چشمه‌های معمول دیگر مقایسه شد. با استفاده از اطلاعات به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که این تحقیق می‌تواند زمینه‌ساز ساخت و استفاده از این چشمه در براکی‌تراپی شود. به خصوص اینکه طبق آزمایش‌های یک گروه پژوهشی در کره، کل مراحل آماده شدن مارکر، ۶ ساعت طول می‌کشد و این میله به راحتی درون استوانه‌های تیتانیومی قرار می‌گیرد.

کلیدواژه‌گان: براکی‌تراپی، TG-43 U1، روش مونت کارلو، MCNPX، ^{125}I ، پارامترهای دزیمتری، $\text{Ag} + \text{Al}_2\text{O}_3$

۱. مقدمه

ساخت چشمه‌های براکی‌تراپی تنوع یافته است. در سال ۲۰۰۷، در کره تحقیقی انجام گرفت که در آن، اکسید آلومینیم و نقره به صورت پودر با یکدیگر مخلوط و پس از طی مراحل تحت فشار $1/2 \text{ ton/cm}^2$ ، به صورت میله‌های استوانه‌ای به طول ۳ cm و قطر ۰/۲۵ cm درآمد و سپس این استوانه‌ها در محلولی حاوی ۵ mCi ^{125}I قرار داده شدند، سپس با تغییر شرایطی مثل میزان غلظت محلول یا مدت زمان قرار داده شدن میله‌ها در محلول و... بهینه‌سازی جذب ^{125}I روی این استوانه‌ها، مورد بررسی قرار گرفت [۷]. بر این اساس، در این تحقیق، چشمه منحصر به فردی طراحی شد که مارکر آن $\text{Ag} + \text{Al}_2\text{O}_3$ است و سپس ویژگی‌های پارامتری آن از روش مونت کارلو به دست آمد.

براکتی‌تراپی یکی از راه‌های درمان تومورهای بدخیم است. براکی‌تراپی با استفاده از چشمه‌هایی که فوتون‌هایی با انرژی پایین گسیل می‌کنند، یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای درمان سرطان پروستات است. از مزایای آن نسبت به روش‌های دیگر، درمان مثل جراحی یا تله‌تراپی کاهش آسیب به قسمت‌های سالم دیگر بافت و از بین رفتن فرصت ترمیم سلول‌های سرطانی است [۱-۶]. رادیو ایزوتوپ ^{125}I ایزوتوپی با فوتون‌های کم‌انرژی است که چون دز ناشی از آن، در فاصله‌های زیاد به شدت افت می‌کند، می‌تواند ایزوتوپ مناسبی در چشمه‌های براکی‌تراپی باشد. با توسعه درمان به شیوه براکی‌تراپی، طراحی و



شکل ۱: شکل چشمه

طیف انرژی فوتون ^{125}I طبق دستورالعمل TG-43 U1،

در جدول زیر آمده است [۸]:

جدول ۱: طیف انرژی فوتون ^{125}I

انرژی فوتون (KeV)	فوتون در هر واپاشی
۲۷/۲۰۲	۰/۴۰۶
۲۷/۴۷۲	۰/۷۵۷
۳۰/۹۸	۰/۲۰۲
۳۱/۷۱	۰/۰۴۳۹
۳۵/۴۹۲	۰/۰۶۶۸

۲.۲ پارامترهای دزیمتری

طبق پروتکل TG-43 U1 [۸]، ثابت نرخ دز، Λ ، به نسبت نرخ دز در فانتوم در فاصله یک سانتی متری روی محور عمود بر چشمه به شدت کرمای هوا، تعریف می شود:

$$\Lambda = \frac{\dot{D}(r_0, \theta_0)}{S_k} \quad (1)$$

S_k یا شدت کرمای هوا نیز معیاری از شدت چشمه براکی تراپی است و به صورت حاصل ضرب میزان کرمای هوا در فاصله d تعریف می شود؛ یعنی

$$S_k = \dot{k}_\delta d^2 \quad (2)$$

که \dot{k}_δ ناشی از فوتون های با انرژی بیشتر از δ (۵ KeV) است و واحد S_k ، $\mu\text{Gm y}^2\text{h}^{-1}$ یا $\text{cGycm}^2\text{h}^{-1}$ (این یکاها چک شوند) است که به آن U نیز می گویند. پارامتر دیگر که باید محاسبه شود، تابع دز شعاعی است که بیانگر آثار جذب و

از آنجا که برای کاهش آسیب های احتمالی به بافت سالم، مقدار دز رسیده به بافت باید کنترل شده باشد، انجمن فیزیک پزشکی آمریکا (AAPM) گروهی تحت عنوان TG-43 U1 را به منظور تعریف و تعیین پارامترهای مورد نیاز چشمه های براکی تراپی تشکیل داد. این انجمن توصیه می کند که قبل از استفاده از هر چشمه ای، باید پارامترهای دزیمتری آن به دو روش مونت کارلو و اندازه گیری عملی تعیین شود [۸]. طبق توصیه انجمن TG-43U1 در شبیه سازی مونت کارلو مشخصات چشمه، طیف انرژی و مشخصات محیط باید به طور دقیق به کار روند تا بتوان روش ارائه شده آن ها را روشی دقیق برای استفاده از چشمه ها دانست. به همین دلیل در این تحقیق، بعد از تعریف دقیق چشمه و محیط ویژگی های دزیمتری، از جمله شدت کرمای هوا، ثابت نرخ دز، تابع دز شعاعی و تابع ناهمسانگردی به منظور استفاده از آن در درمان، به دست آمد و با چشمه های مشابه دیگر مقایسه شد.

۲. مواد و روش ها

۱.۲ مشخصات چشمه

این چشمه کپسولی از جنس تیتانیوم با قطرهای داخلی و خارجی $0/8$ و $0/7$ میلی متر، یعنی با ضخامت متوسط $0/05$ میلی متر و ضخامت انتهای دو طرف کپسول $0/4$ میلی متر است و حاوی استوانه ای از ترکیب نقره و اکسید آلومینیم با چگالی $8/5 \text{ g.cm}^{-3}$ است. (ترکیب نقره و اکسید آلومینیم به ترتیب با درصد وزنی ۱۵ و ۸۵ است). طول استوانه (مارکر) $10/3$ میلی متر و شعاع آن $0/25$ میلی متر است و روی این استوانه ^{125}I به صورت AgI یکنواخت و به ضخامت 5×10^{-5} میلی متر و با چگالی $3/640 \text{ g.m}^{-3}$ قرار گرفته است. نیمه عمر این ایزوتوپ $59/4$ روز است [۷].

$$\bar{\phi}_{am} = \frac{\sum \dot{D}_i(r) \phi_{am}(r)}{\sum \dot{D}_i(r)} \approx \frac{\sum (1/r^2) \phi_{am}(r)}{\sum (1/r^2)} \quad (7)$$

در این تحقیق، شدت کرمای هوا، ثابت نرخ دز و تابع دز شعاعی و تابع ناهمسانگردی یک بعدی و دو بعدی و ثابت ناهمسانگردی برای چشمه محاسبه شده‌اند.

۳.۲. روش شبیه‌سازی

چشمه در مرکز فانتومی کروی آب به شعاع ۳۰ سانتی‌متر و با چگالی 0.998 g.m^{-3} و متشکل از یک اتم اکسیژن و دو اتم هیدروژن، قرار گرفته است و سپس پارامترهای دزیمتری به دست آمده است.

کد MCNP یکی از کدهای بسیار کارآمد برای شبیه‌سازی به روش مونت کارلو است [۱۰]. در این تحقیق، محاسبات دزیمتری به وسیله کد MCNPX ver. ۲/۶ انجام شده‌اند.

دز جذب شده با استفاده از تالی‌های F_6 در زاویه‌های $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, \dots, 90^\circ$ و در فاصله‌های $0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$ سانتی‌متری در حجم‌هایی از آب محصور به لایه‌های کروی و لایه‌های مخروطی و با ضخامت 0.01 سانتی‌متر است [۸، ۱۱، ۱۲، ۱۳].

شدت کرمای هوا^۱ با استفاده از تالی F_6 [۱۱] در پوسته‌های کروی پر از هوا در محیط خلأ به دست آمده است [۸، ۱۱، ۱۴، ۱۵].

هر چند S_k مستقل از فاصله است، برای دقت بیشتر شدت کرمای هوا در فواصل $0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0$ و 4.0 سانتی‌متری از چشمه به دست می‌آید.

تالی F_6 نیز برای محاسبه تابع آرایش هندسی، $G(r, \theta)$ به کار می‌رود [۱۲] که از رابطه تحلیلی ۴، نیز به دست می‌آید. $g(r)$ در فاصله‌های $0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$ سانتی‌متری و $F(r, \theta)$ در

پراکندگی در آب در طول محور عمودی چشمه و در 2 پراکندگی $\theta = \pi$ می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

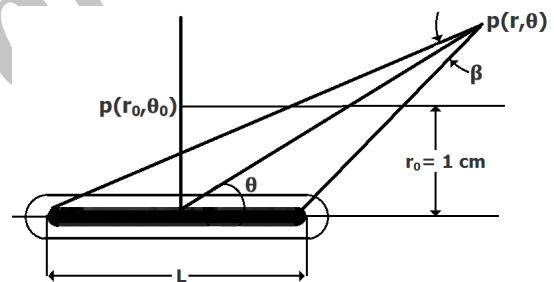
$$g(r) = \frac{\dot{D}(r, \theta_0) G(r_0, \theta_0)}{\dot{D}(r_0, \theta_0) G(r, \theta_0)} \quad (3)$$

در این رابطه، $G(r_0, \theta_0)$ تابع آرایش هندسی در نقطه مرجع یعنی $G(1\text{cm}, \pi/2)$ است. این تابع برای در نظر گرفتن وابستگی شارش فوتون حول چشمه‌ای با فضای آزاد است. $G(r, \theta)$ را می‌توان از رابطه‌های زیر به دست آورد:

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

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

که میزان β را می‌توان با توجه به شکل زیر به دست آورد:



شکل ۲: هندسه در نظر گرفته شده در محاسبات دز

تابع دیگر تابع ناهمسانگردی است که توزیع دز را ناشی از اثرهای جذب و پراکندگی در اطراف چشمه بررسی می‌کند و تابع ناهمسانگردی دو بعدی به این صورت تعریف می‌شود:

$$F(r, \theta) = \frac{\dot{D}(r, \theta) G(r, \theta_0)}{\dot{D}(r, \theta_0) G(r, \theta)} \quad (5)$$

تابع ناهمسانگردی یک بعدی نیز فقط بر حسب فاصله است و از این رابطه به دست می‌آید:

$$\phi_{am}(r) = \frac{\int_0^{\theta_0} \dot{D}(r, \theta) \sin(\theta) d(\theta)}{\dot{D}(r, \theta_0)} \quad (6)$$

ثابت ناهمسانگردی را نیز می‌توان از این رابطه به دست آورد:

1. S_k

فاصله‌های ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ سانتی‌متری و در زوایای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه از طریق روابط آورده شده محاسبه می‌شود. در این تحقیق، برای رسیدن به خطای نسبی هرچه کمتر، تعداد تاریخچه‌ها 4×10^4 در نظر گرفته شد.

ثابت نرخ دز، Λ ، ثابت نرخ دز $0.980 \pm 0.12 \text{ cGyh}^{-1}\text{U}^{-1}$ است. پارامترهای دیگر دزیمتری در جدول‌های ۲ و ۳ به دست آمده است و با نتایج چند چشمه معمول ^{125}I مقایسه شده است (در محیط آب).

۳. یافته‌ها و نتایج

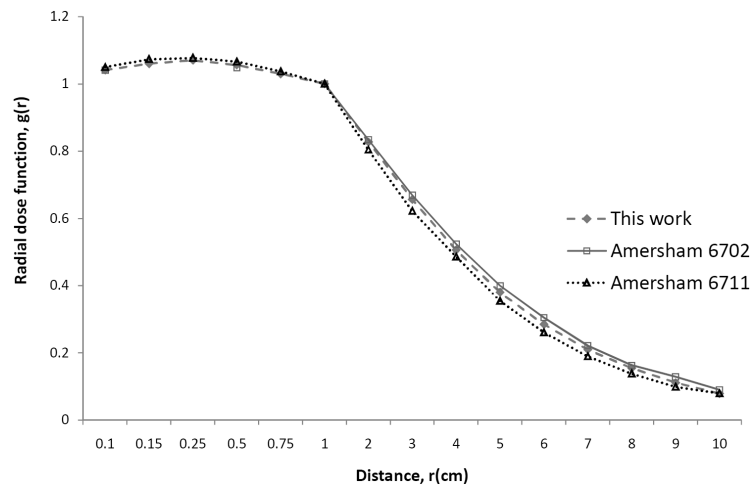
در این تحقیق، تعداد تاریخچه‌ها 4×10^4 در نظر گرفته شد.

جدول ۲: ثابت نرخ دز Λ (cGyh⁻¹U⁻¹) و مقایسه آن با دیگر پژوهش‌ها

چشمه	روش	Λ (cGyh ⁻¹ U ⁻¹)
این تحقیق	مونت کارلو	0.980 ± 0.12
IAI-125 [۱۶]	مونت کارلو	0.98 ± 0.03
Amersham 6711 [۱۷]	مونت کارلو	۰/۹۷۳
Amersham 6702 [۱۷]	مونت کارلو	۱/۰۳۰
InterSource 125I [۱۸]	مونت کارلو	۱/۰۳
Best Industries 2301 [۱۹]	اندازه‌گیری	۱/۰۵
MED3631 [۲۰]	اندازه‌گیری	۱/۰۶

جدول ۳: تابع دز شعاعی $g(r)$ و مقایسه آن با دیگر پژوهش‌ها

فاصله (cm)	چشمه جدید	IsoAid ADVANTAGE™ ¹²⁵ I	Amersham 6711
۰/۱	۱/۰۴۶	۱/۰۴۰	۱/۰۵۵
۰/۱۵	۱/۰۶۵		۱/۰۷۸
۰/۲	۱/۰۷۹	۱/۰۶۶	
۰/۲۵	۱/۰۷۵		۱/۰۸۲
۰/۳	۱/۰۷۲	۱/۰۶۵	
۰/۵	۱/۰۶۱	۱/۰۴۸	۱/۰۷۱
۰/۶	۱/۰۵۰	۱/۰۴۱	
۰/۷	۱/۰۴۱	۱/۰۴۲	
۰/۷۵	۱/۰۳۵		۱/۰۴۲
۱	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
۲	۰/۸۳۷	۰/۸۳۴	۰/۸۱۴
۳	۰/۶۶۶	۰/۶۶۹	۰/۶۳۲
۴	۰/۵۱۶	۰/۵۲۳	۰/۴۹۶
۵	۰/۳۹۰	۰/۳۹۹	۰/۳۶۴
۶	۰/۲۹۵	۰/۳۰۵	۰/۲۷۰
۷	۰/۲۲۰	۰/۲۲۲	۰/۱۹۹
۸	۰/۱۶۴	۰/۱۶۳	۰/۱۴۸
۹	۰/۱۲۱	۰/۱۲۹	۰/۱۰۹
۱۰	۰/۰۸۹	۰/۰۹	۰/۰۸۰۳



شکل ۳: نمودار تابع دز شعاعی و مقایسه آن با دیگر پژوهش‌ها

جدول ۴: تابع ناهمسانگردی چشمه

فاصله (cm)

۵	۴	۳	۲	۱	۰/۵	زاویه (درجه)
۰/۶۱۵	۰/۶۱۰	۰/۵۹۰	۰/۴۶۰	۰/۳۸۰	۰/۴۱۰	۰
۰/۶۷۶	۰/۶۵۴	۰/۶۲۸	۰/۵۸۲	۰/۵۰۵	۰/۴۱۷	۱۰
۰/۷۷۸	۰/۷۶۵	۰/۷۴۹	۰/۷۲۱	۰/۶۷۷	۰/۶۲۷	۲۰
۰/۸۵۲	۰/۸۴۳	۰/۸۳۳	۰/۸۱۹	۰/۷۹۵	۰/۷۷۳	۳۰
۰/۹۰۵	۰/۸۹۹	۰/۸۹۴	۰/۸۸۶	۰/۸۷۷	۰/۸۶۶	۴۰
۰/۹۵۱	۰/۹۴۲	۰/۹۳۹	۰/۹۳۴	۰/۹۲۹	۰/۹۴۷	۵۰
۰/۹۷۷	۰/۹۷۰	۰/۹۷۲	۰/۹۶۶	۰/۹۶۷	۰/۹۶۴	۶۰
۰/۹۹۲	۰/۹۸۷	۰/۹۸۶	۰/۹۸۶	۰/۹۸۸	۰/۹۸۳	۷۰
۱/۰۰۵	۱/۰۰۰	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۴	۸۰
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۹۰

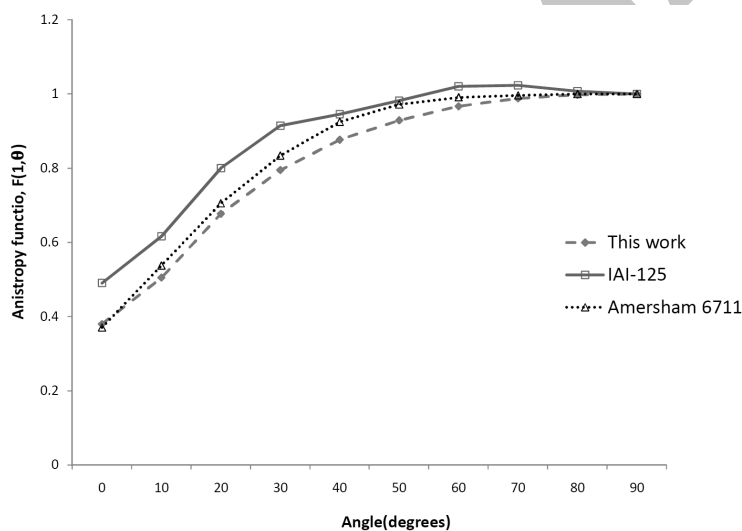
جدول ۵: مقایسه تابع ناهمسانگردی این تحقیق با دیگر پژوهش‌ها (فاصله ۰/۵، ۱، ۲ سانتی‌متری)

فاصله (cm)

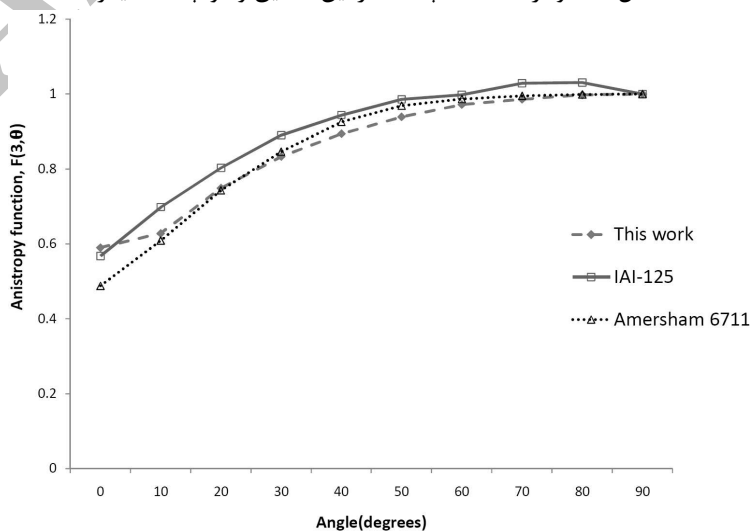
۲			۱			۰/۵		زاویه (درجه)
IAI-125	Amersham 6711	این تحقیق	IAI-125	Amersham 6711	این تحقیق	Amersham 6711	این تحقیق	
۰/۵۷۶	۰/۴۴۲	۰/۴۶۰	۰/۶۰۸	۰/۳۷۰	۰/۳۸۰	۰/۳۳۳	۰/۴۱۰	۰
۰/۶۹۹	۰/۵۸۰	۰/۵۸۲	۰/۷۳۶	۰/۵۳۷	۰/۵۰۵	۰/۵۱۹	۰/۴۱۷	۱۰
۰/۸۰۸	۰/۷۲۷	۰/۷۲۱	۰/۸۲۴	۰/۷۰۵	۰/۶۷۷	۰/۷۱۶	۰/۶۲۷	۲۰
۰/۸۷۹	۰/۸۴۲	۰/۸۱۹	۰/۹۱۴	۰/۸۳۴	۰/۷۹۵	۰/۸۴۶	۰/۷۷۳	۳۰
۰/۹۲۲	۰/۹۲۶	۰/۸۸۶	۰/۹۴۵	۰/۹۲۵	۰/۸۷۷	۰/۹۲۶	۰/۸۶۶	۴۰
۰/۹۵۶	۰/۹۷۰	۰/۹۳۴	۰/۹۸۲	۰/۹۷۲	۰/۹۲۹	۰/۹۷۲	۰/۹۴۷	۵۰
۰/۹۸۲	۰/۹۸۷	۰/۹۶۶	۱/۰۲۰	۰/۹۹۱	۰/۹۶۷	۰/۹۹۹۱	۰/۹۶۴	۶۰
۱/۰۰۹	۰/۹۹۶	۰/۹۸۶	۱/۰۲۳	۰/۹۹۶	۰/۹۸۸	۰/۹۹۶	۰/۹۸۳	۷۰
۱/۰۰۸	۱/۰۰۰	۰/۹۹۸	۱/۰۰۷	۱/۰۰۰	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۰/۹۹۴	۸۰
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۹۰

جدول ۶: مقایسه تابع ناهمسانگردی این تحقیق با دیگر پژوهش‌ها (فواصل ۳، ۴ و ۵ سانتی‌متری)

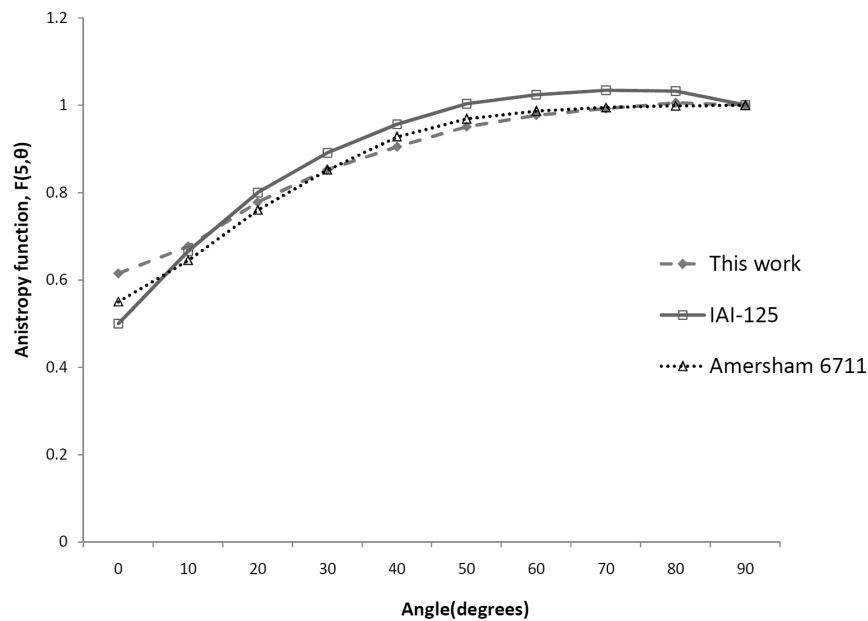
فاصله (cm)									زاویه (درجه)
۵			۴			۳			
IAI-125	Amersham 6711	این تحقیق	IAI-125	Amersham 6711	این تحقیق	IAI-125	Amersham 6711	این تحقیق	
۰/۵۰۰	۰/۵۵۰	۰/۶۱۵	۰/۵۳۵	۰/۵۲۰	۰/۶۱۰	۰/۵۶۷	۰/۴۸۸	۰/۵۹۰	۰
۰/۶۶۶	۰/۶۴۵	۰/۶۷۶	۰/۶۹۰	۰/۶۳۰	۰/۶۵۴	۰/۶۹۸	۰/۶۰۹	۰/۶۲۸	۱۰
۰/۸۰۰	۰/۷۶۰	۰/۷۷۸	۰/۸۰۴	۰/۷۵۲	۰/۷۶۵	۰/۸۰۳	۰/۷۴۳	۰/۷۴۹	۲۰
۰/۸۹۱	۰/۸۵۲	۰/۸۵۲	۰/۸۹۱	۰/۸۴۸	۰/۸۴۳	۰/۸۹۰	۰/۸۴۶	۰/۸۳۳	۳۰
۰/۹۵۶	۰/۹۲۸	۰/۹۰۵	۰/۹۴۹	۰/۹۲۸	۰/۸۹۹	۰/۹۴۴	۰/۹۲۶	۰/۸۹۴	۴۰
۱/۰۰۳	۰/۹۶۹	۰/۹۵۱	۰/۹۹۲	۰/۹۶۹	۰/۹۴۲	۰/۹۸۶	۰/۹۶۹	۰/۹۳۹	۵۰
۱/۰۲۴	۰/۹۸۷	۰/۹۷۷	۱/۰۰۸	۰/۹۸۷	۰/۹۷۰	۰/۹۹۸	۰/۹۸۷	۰/۹۷۲	۶۰
۱/۰۳۴	۰/۹۹۵	۰/۹۹۲	۱/۰۱۸	۰/۹۹۵	۰/۹۸۷	۱/۰۲۹	۰/۹۹۵	۰/۹۸۶	۷۰
۱/۰۳۲	۰/۹۹۹	۱/۰۰۵	۱/۰۳۱	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۱/۰۳۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۸۰
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۹۰



شکل ۴: نمودار چشمه در این تحقیق و دو چشمه دیگر $F(1, \theta)$



شکل ۵: نمودار چشمه در این تحقیق و دو چشمه دیگر $F(3, \theta)$



شکل ۶: نمودار $F(5, \theta)$ چشمه در این تحقیق و دو چشمه دیگر

باشد. کل مراحل آماده شدن مارکر، ۶ ساعت طول می کشد و این میله به راحتی درون استوانه های تیتانیومی قرار می گیرد و چون شبیه سازی مونت کارلو، روشی دقیق برای محاسبه پارامترهای دزیمتری چشمه است و حتی در نقاطی مثل نقاط نزدیک به چشمه که دز جذب شده و شیب تغییرات دز زیاد است، روشی دقیق تر و مفیدتر از روش تجربی است. با استفاده از کد MCNPX که کد دقیق و قدرتمندی برای شبیه سازی در زمینه های مختلف است، ویژگی های پارامتری چشمه از روش مونت کارلو به دست آمد و ملاحظه شد که این ویژگی ها با ویژگی های چشمه های معمول دیگر همخوانی دارد و با توجه به اینکه استفاده از چشمه های کم انرژی در درمان بیماری مزایای زیادی دارد، این چشمه جدید می تواند به عنوان یک چشمه جدید براکی تراپی به کار رود.

۴. بحث و نتیجه گیری

جدول ها و شکل ها علاوه بر بیان ویژگی های دزیمتری چشمه، ویژگی های این چشمه و دیگر چشمه ها را با هم مقایسه می کنند. اختلافی که بین نتایج وجود دارد، ناشی از تفاوت در ساختار چشمه هاست. همان طور که از جداول و شکل ها دیده می شود، توافق خوبی بین ویژگی های دزیمتری این چشمه طراحی شده و چشمه های شناخته شده دیگر مثل ^{125}I ADVANTAGE™ مدل IAI_125 و Amersham 6711 وجود دارد که بیانگر این است که این چشمه می تواند به عنوان چشمه براکی تراپی مورد استفاده قرار گیرد. از آنجاکه تحقیق بهینه سازی جذب ^{125}I روی $\text{Ag} + \text{Al}_2\text{O}_3$ توسط U.J.Park و همکاران [۷] نشان داد که ^{125}I به راحتی روی $\text{Ag} + \text{Al}_2\text{O}_3$ می چسبد و توزیع آن نیز یکنواخت است، $\text{Ag} + \text{Al}_2\text{O}_3$ می تواند حامل خوبی برای ^{125}I

۵. مراجع

- [1] D. Nori, Conformal brachytherapy of prostate cancer: an effective outpatient treatment. *Cancer Watch* 1 (1992), 124–126.
- [2] K.J. Russell and J.C. Blasko, Recent advances in interstitial brachytherapy for localized prostate cancer. *Probl. Urol.* 7 2 (1993), 260–278.
- [3] M.S. Porrizzo, B.S. Hilaris, C.R. Moorthy, A.E. Tchelebi, C.A. Mastoras, L.L. Shih, L. Stabile and N. Salvaras, Permanent interstitial implantation using palladium-103: The New York Medical

- college preliminary experience. *Int. J. Rad. Onc. Biol. Phys.* 23 (1992), 1033–1036.
- [4] J.C. Blasko, K. Wallner, P.D. Grimm and H. Ragde, Prostate specific antigen based control following ultrasound guided ^{125}I implantation for Stage T1/T2 Prostate carcinoma. *J. Urol.* 154 (1995), 1096–1099.
- [5] Duggan DM, Improved radial dose function estimation using current version MCNP Mont-Carlo simulation: Model 6711 and ISC3500 ^{125}I brachytherapy sources, *Appl Radiat Isot.* 61 (2004), 1443–1450.
- [6] Usgaonker SR, MCNP Modeling of prostate brachytherapy and of organ dosimetry, 2003; MSC thesis, USA.
- [7] U. J. Park, J. S Lee, K. J. Son, H. S. Han, S. S. Nam, The adsorption of ^{125}I on a $\text{Ag}+\text{Al}_2\text{O}_3$ rod as a carrier body for a brachytherapy source. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.* 277 2 (2008), 429–432.
- [8] M.J. Rivard, B.M. Coursey, L.A. DeWerd, W.F. Hanson, M.S. Huq, G.S. Ibbott, M.G. Mitch, R. Nath and 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] R. Nath and N. Yue, Dosimetric characterization of a newly designed encapsulated interstitial brachytherapy source of iodine-125—model LS-1 BrachyseedTM, *Appl. Radiat. Isot.* 55 (2001), 813–821.
- [10] J.F. Briesmeister, Editor, *MCNP-4C A General Monte Carlo N-Particle Transport Code System—Version 4C*, Los Alamos National Laboratory, Louisiana (2000).
- [11] M. Sadeghi, G. Raisali, S.H. Hosseini and A. Shavar, Monte Carlo calculations and experimental measurements of dosimetric parameters of the IRA ^{103}Pd brachytherapy source, *Med. Phys.* 34 (2008), 1288–1294.
- [12] Z. Li, J.R. Palta and J.J. Fan, Monte Carlo calculations and experimental measurements of dosimetry parameters of a new ^{103}Pd source, *Med. Phys.* 27 (2000), pp. 1108–1112.
- [13] M.J. Rivard, A discredited approach to determining TG-43 brachytherapy dosimetry parameters: case study using Monte Carlo calculation for the ^{103}Pd MED3633 source, *Appl. Radiat. Isot.* 55 (2001), 775–782.
- [14] Z. Li, J.R. Palta and J.J. Fan, Monte Carlo calculations and experimental measurements of dosimetry parameters of a new ^{103}Pd source, *Med. Phys.* 27 (2000), 1108–1112.
- [15] A.S. Meigooni, Z. Bharucha, M. Yoe-Sein and K. Sowards, Dosimetric characteristics of the bests double-wall ^{103}Pd brachytherapy source, *Med. Phys.* 28 (2001), 2568–2575.
- [16] Ali S. Meigooni,^{a)} Joshua L. Hayes, Hualin Zhang, and Keith Sowards, Experimental and theoretical determination of dosimetric characteristics of IsoAid ADVANTAGETM ^{125}I brachytherapy source, *Med. Phys.* 29 9 (2002), 2152–2158.
- [17] J. F. Williamson, H. Perera, and Z. Li, Comparison of calculated and measured heterogeneity correction factors for ^{125}I , ^{137}Cs , and ^{192}Ir brachytherapy source near localized heterogeneities, *Med. Phys.* 20 (1993), 209–222.
- [18] A. S. Meigooni, M. M. Yoe-Sein, A. Al-Otoom, and K. Sowards, Determination of the dosimetric characteristics of interSource125 iodine brachytherapy source, *Appl. Radiat. Isot.* 56 (2002), 589–599.
- [19] A.S. Meigooni, D.G. Gearheart and K. Sowards, Experimental determination of dosimetric characteristics of Best[®] ^{125}I brachytherapy source, *Med. Phys.* 27 9 (2000), 2168–2173.
- [20] R.E. Wallace and J.J. Fan, Report on the dosimetry of a new design ^{125}I brachytherapy source. *Med. Phys.* 26 9 (1999), 1925–1931.