



ارزیابی پارامترهای دزیمتری چشمه براکی‌تراپی ایریدیوم-۱۹۲، Nucletron mHDR-v1 در

بافت‌های چربی و پروستات به وسیله کد مونت کارلو GATE

یوسفی تاجانی، سبحان* - طاهرپرور، پیوند

دانشگاه گیلان، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

براکتی‌تراپی نوع خاصی از پرتودرمانی است که در آن چشمه‌ی پرتوزا در داخل یا نزدیکی تومور در داخل بدن قرار می‌گیرد. برای اهداف طراحی درمان، تعیین دُز پیرامون چشمه‌های مورد استفاده، اهمیت بسیاری دارد. در این مطالعه، پارامترهای دزیمتری چشمه‌ی براکی‌تراپی Ir-192 Nucletron mHDR-v1 مطابق پروتکل AAPM, TG-43-U1 با استفاده از کد شبیه‌سازی مونت کارلو GATE در فانتوم آب محاسبه و نتایج آن با مطالعات دیگر مقایسه و اعتبارسنجی گردید. پس از اعتبارسنجی، نتایج دزیمتری به بافت‌های چربی و پروستات تعمیم داده شد. نتایج حاصل بیانگر تفاوت قابل توجه تابع دُز جذبی در بافت‌های اشاره‌شده نسبت به فانتوم آب می‌باشد. همچنین، نتایج تابع ناهمسانگردی در زوایای مختلف برای فواصل 0.5 cm و 1 cm محاسبه شد.

کلمات کلیدی: براکی‌تراپی، چشمه Ir-192، دزیمتری، GATE

مقدمه:

به طور کلی و بر اساس نحوه قرارگیری چشمه پرتوزا نسبت به بدن بیمار، پرتودرمانی در پزشکی هسته‌ای به دو بخش پرتودرمانی خارجی و داخلی تقسیم می‌گردد. در پرتودرمانی خارجی، چشمه پرتوزا در فاصله‌ای از بدن بیمار قرار می‌گیرد و همین امر پرتوگیری ناخواسته‌ای را در اندام‌های مابین چشمه و تومور به دنبال خواهد داشت؛ اما در پرتودرمانی داخلی (یا براکی‌تراپی)، به دلیل اینکه چشمه پرتوزا مستقیماً در بدن بیمار قرار می‌گیرد، دُز معین به طور موضعی در ناحیه موردنظر نهشت می‌یابد و کاهش دُز دریافتی توسط اندام‌های سالم اطراف تومور و تحویل حداکثری دُز به تومور را به دنبال دارد [۱]. ایریدیوم-۱۹۲ یک گسیلنده گاما و بتا با نیمه‌عمر ۷۳/۸ روز می‌باشد. این چشمه به دلیل نیمه عمر مناسب، فعالیت بالا (تا چندصد گیگابکرل) و هزینه تولید پایین در درمان‌های موقت براکی‌تراپی گسترش زیادی یافته است؛ به طوری که امروزه این چشمه در درمان انواع سرطان‌ها مانند سرطان پروستات مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲]. به صورت یک قانون پذیرفته شده، تمامی چشمه‌های براکی‌تراپی لازم است که پیش از کاربردهای بالینی به دقت و بر اساس پروتکل‌های استاندارد بررسی شوند. بر این اساس، معمولاً پروتکل استاندارد ارائه شده توسط کارگروه ویژه‌ای با نام TG-43U1 در انجمن فیزیک پزشکی آمریکا (AAPM)، برای بررسی پارامترهای موردنیاز چشمه‌های براکی‌تراپی مورد استفاده و استناد قرار می‌گیرد. از آنجایی که استفاده از روش‌های تجربی برای محاسبه این پارامترها با محدودیت‌های زیادی رو به رو

است، یکی از بهترین روش‌ها برای تعیین پارامترهای موردنظر، محاسبه آن‌ها توسط کد مونت کارلو می‌باشد. کد GATE یکی از ابزارهای قدرتمند شبیه‌سازی برای کاربردهای پزشکی هسته‌ای از جمله تصویربرداری و پرتودرمانی می‌باشد که در بستر کد GEANT4 توسعه یافته است [۳]. بر اساس موارد یاد شده، در این مقاله ابتدا به تعیین و ارزیابی پارامترهای دُزیمتری چشمه براکی‌تراپی ایریدیوم-۱۹۲، مدل Nucletron mHDR-v1 در آب پرداخته شد و نتایج حاصل با نتایج سایر پژوهش‌ها که توسط AAPM و ESTRO منتشر شده، مقایسه گردید. در ادامه، پارامتر تابع دُز شعاعی در بافت‌های چربی و پروستات بررسی و میزان اختلاف آن نسبت به فانتوم آب محاسبه شد. به علت تفاوت در چگالی و ساختار بافت‌های یاد شده نسبت به آب، اختلاف نسبی در مقدار دُز مورد ارزیابی قرار گرفته است.

روش کار:

چشمه براکی‌تراپی microSelectron HDR شبیه‌سازی شده در این پژوهش در سال ۱۹۹۱ توسط Nucletron در هلند معرفی شد. این چشمه پرتوزا متشکل از یک بخش فعال با طول ۳٫۵mm و شعاع ۰٫۶mm می‌باشد که درون کپسولی از جنس فولاد ضد زنگ (AISI 316L stainless steel) با شعاع خارجی ۱٫۱ mm و یک انتهای کروی با شعاع انحنا ۰٫۵۵ mm قرار گرفته است. در شکل ۱-الف و ب، تصویر این چشمه براکی‌تراپی که توسط کد GATE شبیه‌سازی شده، نمایش داده شده است.



شکل ۱: (الف): کپسول Nucletron mHDR-v1 شبیه‌سازی شده توسط کد GATE، (ب): کپسول شبیه‌سازی شده توسط کد GATE به همراه کابل آن، (ج): هندسه در نظر گرفته شده برای محاسبات دُزیمتری.

مطابق توصیه‌های TG-43U1، ثابت آهنگ دُز (Λ) ، به صورت نسبت آهنگ دُز در نقطه مرجع (فاصله یک سانتی‌متر بر روی محور عمود بر چشمه، $(r=1\text{cm}$ و $\theta=90^\circ)$ ، بر قدرت گرمای هوا تعریف می‌شود. ثابت آهنگ دُز به کمک رابطه (۱) نشان داده می‌شود.

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

که در این رابطه، $\dot{D}(r_0, \theta_0)$ آهنگ دُز در نقطه مرجع و S_K شدت گرمای هوا است. شدت گرمای هوا معیاری از قدرت چشمه براکی‌تراپی موردنظر می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:



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

در این رابطه، \dot{K} آهنگ کرمای هوا و d فاصله از مرکز چشمه می‌باشد [۲]. همچنین، تابع دُز شعاعی $g(r)$ و تابع ناهمسانگردی $F(r, \theta)$ ، به ترتیب بیانگر وابستگی دُز جذبی به عمق در راستای عمود بر محور چشمه در آب و آثار جذب و پراکندگی فوتون‌ها در اطراف یک چشمه براکی تراپی می‌باشد و به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند [۴]:

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

$$F(r, \theta) = \frac{\dot{D}(r, \theta).G(r, \theta)}{\dot{D}(r, \theta_0).G(r, \theta_0)} \quad (4)$$

در این روابط، $\dot{D}(r, \theta_0)$ آهنگ دُز در فاصله r و زاویه مرجع، $\dot{D}(r_0, \theta_0)$ آهنگ دُز در نقطه مرجع، $G(r_0, \theta_0)$ تابع هندسه در نقطه مرجع و $G(r, \theta_0)$ تابع هندسه در فاصله r و زاویه مرجع و $\dot{D}(r, \theta)$ و $G(r, \theta)$ به ترتیب آهنگ دُز و تابع هندسه در فاصله r و زوایای مختلف از مرکز چشمه می‌باشد. برای تابع هندسه در چشمه‌های خطی از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$G(r, \theta) = \begin{cases} \frac{\beta}{Lr \sin \theta}, & \theta \neq 0 \\ r^2 - \frac{L^2}{4}, & \theta = 0 \end{cases} \quad (5)$$

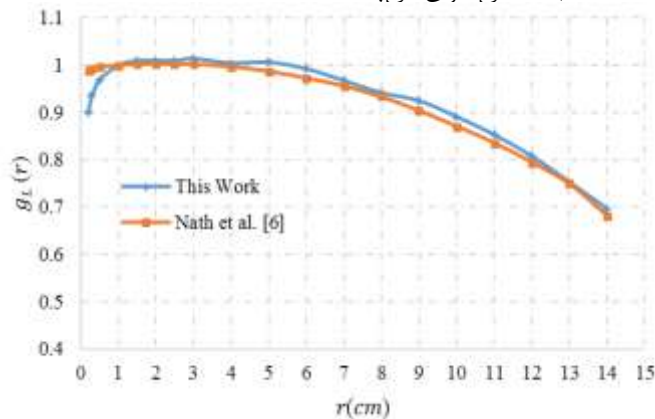
که L طول فعال چشمه و r فاصله از مرکز چشمه می‌باشد و زاویه β در شکل ۱-ج نشان داده شده است. شبیه‌سازی‌های این پژوهش توسط کد مونت‌کارلو GATE نسخه ۸٫۲ انجام گرفت. برای انجام شبیه‌سازی‌ها به منظور تعیین تابع دُز شعاعی و ناهمسانگردی، بنا بر توصیه TG43-U1، چشمه براکی تراپی موردنظر با در نظر گرفتن هندسه، مواد سازنده و طیف انرژی مربوط به آن، در مرکز یک فانتوم کروی آب با چگالی 0.998 g/cm^3 با شعاع 15 cm قرار داده شد. همچنین، طیف فوتون‌های گامای ایریدیوم-۱۹۲ در این مطالعه، بر اساس NUDAT2.7 می‌باشد [۵]. برای به دست آمدن نتایج، 5×10^8 ذره مورد رهگیری قرار گرفت. در ادامه، از آنجایی که استفاده از محیط آب به عنوان محیط مرجع به توصیه TG-43U1 برای تعیین پارامترهای دُزیمتری کپسول‌های براکی تراپی یکی از منابع خطا خواهد بود، برای بررسی میزان خطای به وجود آمده، تابع دُز شعاعی کپسول Nucletron mHDR-v1 علاوه بر فانتوم آب، در بافت‌های چربی و پروستات به ترتیب با چگالی‌های 1.059 g/cm^3 و 0.95 g/cm^3 (و درصد وزنی ارائه شده توسط ICRU44 [۷]) مورد محاسبه قرار گرفت.

نتایج:

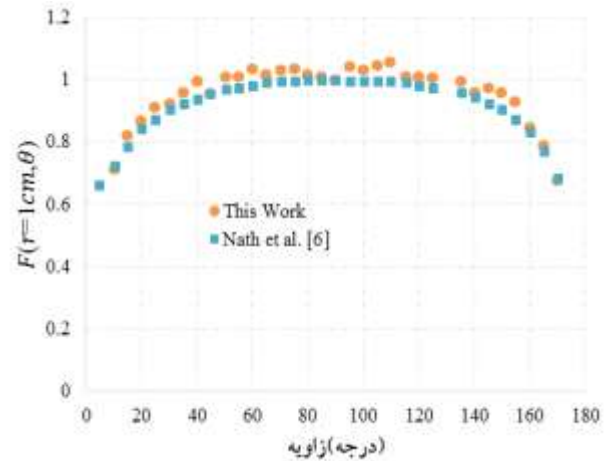
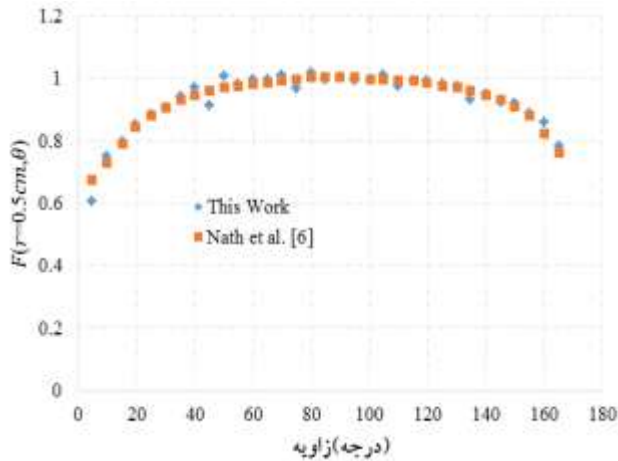
به منظور اعتبارسنجی داده‌های تابع دُز شعاعی در آب، نتایج شبیه‌سازی شده به کمک کد GATE، با داده‌های مرجع (منتشر شده توسط AAPM) مقایسه شد، که در شکل ۲ قابل مشاهده است. میانگین اختلاف نسبی این پارامتر در حدود

۱٫۶۷ درصد است که نشان‌دهنده توافق بسیار خوب نتایج حاصل از شبیه‌سازی GATE با داده‌های مرجع است. در ادامه، تابع ناهمسانگردی چشمه ایریدیوم-۱۹۲ مدل Nucletron mHDR-v1 در زوایای مختلف و در فواصل 0.5 cm و 1 cm از مرکز چشمه محاسبه و با نتایج مرجع (منتشر شده توسط AAPM) برای این چشمه مقایسه شد. در شکل ۳، نتایج حاصل از تابع ناهمسانگردی محاسبه شده توسط کد GATE، با نتایج مرجع مقایسه شده است که مطابقت خوب نتایج حاصل با مقادیر مرجع را نشان می‌دهد. بیشینه درصد اختلاف مشاهده شده در فاصله 0.5 cm در حدود 4.43% درصد و در فاصله 1 cm در حدود 6.96% درصد می‌باشد.

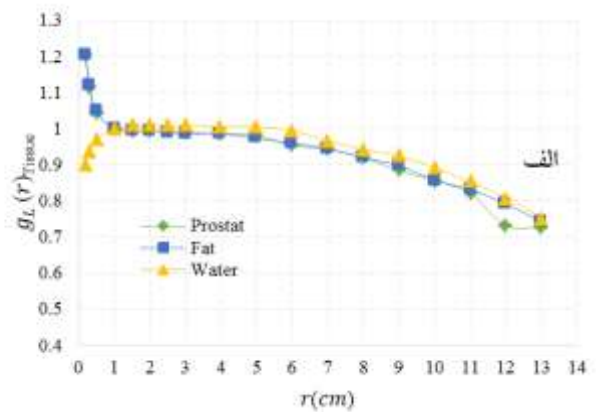
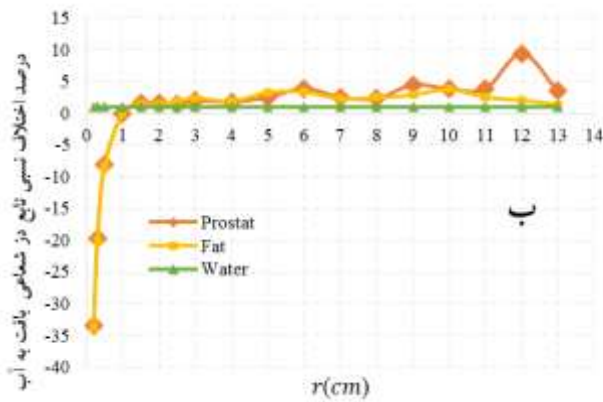
در شکل ۴-الف، به مقایسه نتایج تابع دُز شعاعی در بافت‌های چربی و پروستات با داده‌های حاصل از فانتوم آب پرداخته شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، تابع دُز شعاعی در بافت چربی و پروستات به دلیل چگالی و ساختار متفاوت این دو بافت نسبت به آب، دارای اختلافاتی نسبت به فانتوم آب می‌باشد. این اختلاف در فواصل کمتر از 1 cm بیشتر است و با افزایش فاصله از مرکز چشمه کاهش می‌یابد. در شکل ۴-ب، اختلاف نسبی هر یک از مقادیر تابع دُز شعاعی در بافت‌های چربی، پروستات و آب نسبت به آب نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، اختلاف نسبی تابع دُز شعاعی در بافت‌های چربی و پروستات نسبت به آب با افزایش فاصله از مرکز چشمه، کاهش می‌یابد، در واقع بیشترین درصد اختلاف در بافت پروستات 22.79% درصد در فاصله 0.2 cm سانتی‌متری و در بافت چربی 33.70% درصد در فاصله 0.2 cm سانتی‌متری می‌باشد.



شکل ۲: مقایسه نتایج تابع دُز شعاعی محاسبه شده توسط کد GATE با مرجع [۶]



شکل ۳: مقایسه نتایج تابع ناهمسانگردی در زوایای مختلف در فواصل ۰/۵cm (سمت چپ) و ۱cm (سمت راست) از چشمه با مرجع [۶]



شکل ۴: (الف): مقایسه تابع دز شعاعی محاسبه شده توسط کد GATE در بافت‌های چربی و پروستات با فانتوم آب (ب): درصد اختلاف تابع دز شعاعی در بافت‌های پروستات و چربی نسبت به تابع دز شعاعی در فانتوم آب



بحث و نتیجه گیری:

به دلیل محدودیت‌های روش‌های تجربی در تعیین پارامترهای دُزیمتری، در این مقاله، به بررسی پارامترهای دُزیمتری کپسول براکی‌تراپی ایریدیوم-۱۹۲، مدل Nucletron mHDR-v1 توسط کد GATE نسخه ۸٫۲ پرداخته و نتایج حاصل با مرجع (منتشر شده توسط AAPM) مقایسه شد. مقایسه نتایج بیانگر این است که پارامترهای دُزیمتری چشمه براکی‌تراپی ایریدیوم-۱۹۲ را می‌توان به وسیله کد مونت‌کارلو GATE و با استفاده از فهرست فیزیکی مناسب، به خوبی محاسبه کرد. از طرف دیگر، برای بررسی اختلاف نسبی تابع دُز شعاعی در بافت‌های مختلف و فانتوم آب، به محاسبه این پارامتر در

بافت‌های چربی و پروستات و مقایسه آن با حالتی که از فانتوم آب برای محاسبه این پارامترها استفاده می‌شود، پرداخته شد. نتایج نشان دهنده اختلاف نسبی در تعیین پارامترهای تابع دُز شعاعی است، که به دلیل تفاوت در چگالی و عناصر سازنده این بافت‌ها نسبت به آب می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، در فاصله‌های نزدیک به مرکز چشمه، این اختلاف نسبی به مراتب بیشتر می‌باشد و از آنجایی که در روش براکی‌تراپی، هدف؛ تحویل حداکثر دُز به تومور و حداقل دُز به بافت‌های سالم اطراف تومور است، در درمان تومورهایی که در مجاورت بافت‌های مختلف قرار می‌گیرند، باید تصحیحات لازم برای تعیین این پارامترها در برنامه‌های طراحی درمان اعمال گردد.

مراجع:

- [1] E.A. Rodriguez, E.P. Alcon, M.L. Rodriguez, F. Gutt, C.E. de Almeida. "Dosimetric parameters estimation using PENELOPE MonteCarlo simulation code: Model 6711 a 125I brachytherapy seed"; *Appl Radiat Isot* 63, No.1 :41-48, 2005.
- [2] D. Baltas, P. Karaiskos, P. Papagiannis, L. Sakelliou, E. Loeffler, and N. Zamboglou. "Beta versus gamma dosimetry close to Ir-192 brachytherapy sources." *Med Phys* 28, No.9, 1875-1882, 2001.
- [3] مدل ۶۷۱۱ با استفاده از کد I-125 براکی‌تراپی فردی، زینب؛ طاهرپرور، پیوند، تخمین پارامترهای دُزیمتری کپسول [۳] ، مجله سنجش و ایمنی پرتو، شماره ۳، جلد ۷، صفحه ۲، ۱۳۹۸. GATE 8.1.
- [4] K. Weaver. Anisotropy functions for I-125 and Pd-103 sources. *Med Phys* 25, No.12 :2271-2278, 1998.
- [5] National Nuclear Data Center, "NNDC," Brookhaven National Laboratory NUDAT 2.7 Electronic Version, [Online]. Available: www.nndc.bnl.gov/nudat2, Accessed 2019.
- [6] R. Nath, L. L. Anderson, G. Luxton, K. A. Weaver, J. F. Williamson, and A. S. Meigooni. "Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43. American Association of Physicists in Medicine." *Med Phys* 22, No.2 :209-234, 1995. Also available as AAPM Report No. 51



بیست و ششمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۸۰۷ اسفندماه ۱۳۹۸ - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تهران



[7] ICRU Report No. 44, Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement. ICRU, Bethesda, 1989.