

## ارزیابی دز رسیده به پروستات و چند اندام حساس در براکی تراپی پروستات با استفاده از کد مونت کارلو در سه رادیوایزوتوپ $^{125}\text{I}$ و $^{103}\text{Pd}$ ، $^{131}\text{Cs}$

پروین احمدی<sup>۱</sup> و مجتبی شمسایی ظفرقندی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

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

پست الکترونیکی: pysham@aut.ac.ir

### چکیده

با استفاده از کد مونت کارلو (MCNP) می‌توان دزهای رسیده به اندام‌های حساس مانند شکم، پروستات، کبد و کلیه‌ها را در آزمایش براکی تراپی پروستات محاسبه کرد. بدین سبب که با افزایش دز رسیده به اندام‌های نزدیک پروستات، احتمال ابتلا به سرطان نیز افزایش می‌یابد، این تحقیق مهم و کاربردی خواهد بود. در این تحقیق با استفاده از کد MCNP 4C انرژی رسیده به این اندام‌ها با منابع رادیوایزوتوپ  $^{125}\text{I}$  و  $^{103}\text{Pd}$ ،  $^{131}\text{Cs}$  محاسبه شد. نزدیک‌ترین اندام به پروستات، بیشترین انرژی و دورترین اندام، کمترین انرژی را دریافت کرده است. دز رسیده در هر تبدیل در اندام‌ها محاسبه و در آخر با توجه به فعالیت منابع مقدار دز کل رسیده به اندام‌ها محاسبه شد. دز رسیده به پروستات به ترتیب حدود ۸۰، ۹۶ و ۱۰۲ گری برای  $^{125}\text{I}$  و  $^{103}\text{Pd}$ ،  $^{131}\text{Cs}$  می‌باشد. شکم بالاترین دز (۲ Gy) و ریه کمترین دز ( $0.27 \times 10E-4$  Gy) را دریافت کرد.

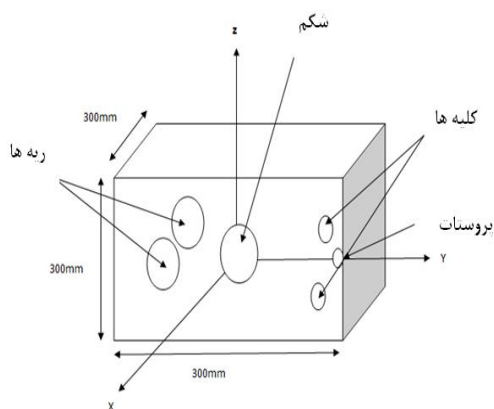
کلیدواژگان: MCNP، براکی تراپی، پروستات، دزیمتری.

### ۱. مقدمه

دز در بافت‌های سالم اطراف تومور ایجاد شود. در گذشته، براکی تراپی اغلب با منابع رادیوم یا رادون انجام می‌گرفت. امروزه استفاده از عناصر رادیواکتیو مصنوعی ید ۱۲۵ و ... به سرعت در حال گسترش است. امروزه روش درمانی براکی تراپی، نقش مهمی در درمان سرطان‌های نواحی مختلف بدن از جمله مغز، سر، گردن، پروستات، رحم و غیره دارد. براکی تراپی، دو روش اصلی متفاوت دارد: روش اول، پرتودهی درون‌حفره‌ای است که در آن، چشمه‌های رادیواکتیو درون حفره‌های بدن در جوار تومورها قرار می‌گیرد و آن را در معرض پرتوگیری قرار می‌دهد؛ روش دوم، براکی تراپی درونی است که در آن، دانه‌های رادیواکتیو مستقیماً در حجم تومور کاشته می‌شود. امروزه چشمه‌های براکی تراپی، به طور گسترده‌ای برای درمان بیماری‌ها استفاده می‌شوند. دو روش در تابش درمانی سرطان پروستات

آمار نشان می‌دهد تقریباً از هر ۶ مرد بالای ۵۰ سال، یک نفر مبتلا به سرطان پروستات می‌شود. سرطان پروستات به ندرت در افراد جوان زیر ۴۰ سال دیده می‌شود. این سرطان در مردان آفریقایی آمریکایی بیشتر از مردان سفیدپوست دیده می‌شود [۴]. برای تشخیص و درمان سرطان از تابش‌ها استفاده می‌گردد. در سرطان پروستات، براکی تراپی یکی از روش‌های متداول است. این روش یک روش موفق در درمان این بیماری است. براکی تراپی، نوعی روش درمانی است که در آن، منابع رادیواکتیو پوشش‌دار برای تولید پرتو نیزان در فاصله کوتاه به صورت داخل بافتی، داخل حفره‌ای و یا بر روی سطح مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این روش درمانی می‌توان یک دز تابشی بالا به صورت متمرکز به تومور رساند، به گونه‌ای که افت سریع

بسیاری از کارکردها و عملیات‌ها از جمله سرعت دز به عنوان کارکردی از انرژی و یا عمق رادیونوکلئیدهای به کار رفته، به کار برده شود [۱]. در این تحقیق، سه برنامه مستقل برای منابع  $^{125}\text{I}$ ،  $^{131}\text{Cs}$  و  $^{103}\text{Pd}$  اجرا شد. مقادیر دز به دست آمده برای این سه منبع به ترتیب ۸۰، ۱۰۲ و ۹۶ Gy و همچنین فعالیت سه منبع ۱.۲۱، ۰.۴۰۹ و ۱.۳۶ mCi و با انرژی ۳۰، ۲۸.۵ و ۲۱ keV است. در این تحقیق، یک طرح‌واره به شکل مکعب با ابعاد برابر  $30 \times 30 \times 30$  در نظر گرفته شد که محورهای X، Y و Z طوری بر آن منطبق گردید که محور Y در امتداد بدن و محور Z عمود بر سینه و رو به بالا می‌باشد. کره‌هایی نیز به عنوان ریه کلیه و شکم و پروستات را که حجمی برابر با حجم همین اندام‌ها در بدن شخص بالغ است، در نظر گرفته شد. شکل (۱) طرحی از این طرح‌واره را نشان می‌دهد.



شکل (۱): طرح‌واره اندام‌ها در شبیه‌سازی مونت کارلو

### ۳. نتایج

در ابتدا برای هر سه منبع کد جداگانه اجرا گردید، سپس انرژی و دز انتقالی رسیده در هر اندام محاسبه شد. این مقادیر با توجه به فاصله‌ای که هر اندام از پروستات دارند، به دست آمده است. نتایج به دست آمده در چند اندام و همچنین پروستات در جدول (۱) برای منبع دانه‌های  $^{103}\text{Pd}$ ،  $^{131}\text{Cs}$  و  $^{125}\text{I}$  نشان داده شده است. دز انباشت در پروستات و دیگر اندام‌های حساس در شبیه‌سازی برای هر منبع دانه در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنین مقایسه‌ای میان مدل مونت کارلو به کار رفته در این تحقیق و نتایج مرکز براکی تراپی مونت فیور [۵] برای سه منبع دانه در پروستات در شکل (۳) نشان داده شده است.

وجود دارد: روش تابش درمانی داخلی و تابش درمانی خارجی. در براکی تراپی از فوتون، نوترون و پروتون‌های تولید شده در شتاب‌دهنده‌ها استفاده می‌شود. این ذرات انرژی، خود را در بافت پروستات هدر داده سلول‌های سرطانی را از بین می‌برد [۶].  $^{125}\text{I}$  انرژی متوسط بالاتری را نسبت به  $^{131}\text{Cs}$  و  $^{103}\text{Pd}$  دارد. انرژی یک عامل مهم در دز تابشی رسیده به پروستات است. همچنین  $^{131}\text{Cs}$  دارای کمترین نیمه عمر در بین رادیواکتیوهای به کار رفته در براکی تراپی با مقدار ۹.۷ روز است.  $^{131}\text{Cs}$  ۹۰٪ مقدار دزش را در ۳۳ روز از دست می‌دهد. این در صورتی است که  $^{103}\text{Pd}$  این مقدار دز را در ۵۸ روز و  $^{125}\text{I}$  در ۲۰۴ روز از دست می‌دهد [۲]. این تحقیق بر روی مقدار دز رسیده به اندام‌ها در طی کاشت دانه‌ها در براکی تراپی متمرکز شده است. از آن جهت که دز رسیده به پروستات بالاست، اندام‌های اطراف آن نیز دز بالایی را دریافت خواهند کرد. در یک براکی تراپی دارای اشکال نامساعد، هم سلول‌های سالم پروستات و هم سلول‌های سرطانی از بین می‌رود. در این تحقیق، دز رسیده به اندام‌ها در روش براکی تراپی داخلی به روش مونت کارلو محاسبه می‌شود. با استفاده از نتایج به دست آمده در این روش، متخصصان فیزیک پزشکی می‌توانند روش‌های مناسب‌تری را به کلینیک‌ها معرفی کنند.

### ۲. مواد و روش‌ها

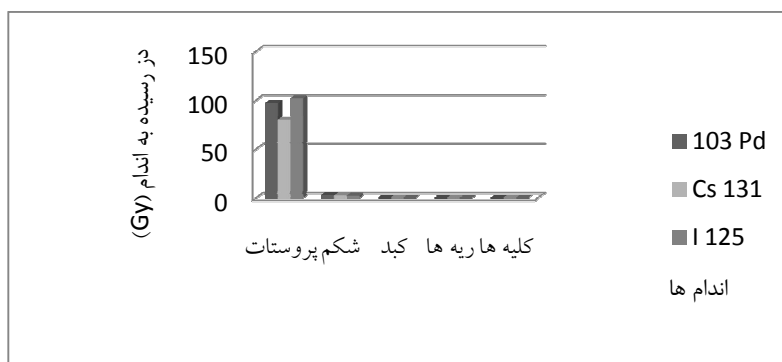
براکتی تراپی، یک روش درمانی است که در آن، چشمه رادیواکتیو برای پرتودهی در فاصله نزدیک به کار گمارده می‌شود. برای برآورد توزیع دز در اطراف این چشمه‌ها روش‌های مختلفی ارائه شده است. هدف از انجام این تحقیق به دست آوردن دز در پروستات با استفاده از رادیوداروهای مختلف است. به این منظور، توسط شبیه‌سازی مونت کارلو توسط کد MCNP4C مقدار دز در فانتوم، شبیه‌سازی و با تالی  $^8\text{F}^*$  محاسبه می‌شود.

### ۲-۱. مدل کامپیوتری

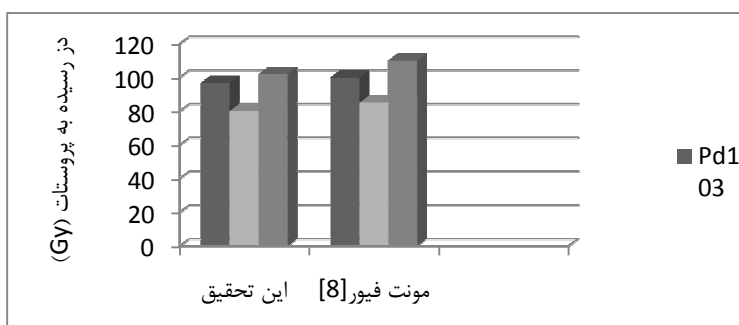
در مدل‌های کامپیوتری و در شبیه‌سازی بسیاری از فاکتورها مانند انرژی تابش، منبع، طرح‌واره‌ها، مواد و هندسه باید طراحی شود [۳]. یک روش مونت کارلو می‌تواند برای

جدول (۱): محاسبه دز در اندام‌ها در طرح‌واره برای  $^{103}\text{Pd}$ ،  $^{131}\text{Cs}$  و  $^{125}\text{I}$ 

دز انباشت (Gy)	$U_s$ (Bq-sec) کل تبدیل	دز جذب شده در هر تبدیل $Gy\ trans^{-1}$	انرژی جذب شده در هر تبدیل	حجم اندام $\lambda$	چگالی اندام $gcm^{-3}$	اندام	رادیو ایزوتوپ
$3.33 \times 10^{-4}$	$43.83 \times 10^{14}$	$7.6 \times 10^{-20}$	$7.17 \times 10^{-6}$	1436	1.04	کبد	$^{125}\text{I}$
2	$43.83 \times 10^{14}$	$4.6 \times 10^{-16}$	$5.4 \times 10^{-4}$	179.5	1.04	شکم	
$1.1 \times 10^{-4}$	$43.83 \times 10^{14}$	$2.5 \times 10^{-20}$	$4.9 \times 10^{-7}$	2143.5	0.296	ریه‌ها	
$4.29 \times 10^{-4}$	$43.83 \times 10^{14}$	$9.8 \times 10^{-20}$	$17.6 \times 10^{-8}$	267	1.04	کلیه	
102	$43.83 \times 10^{14}$	$2.33 \times 10^{-14}$	$9.4 \times 10^{-3}$	65	1.04	پروستات	
$1.1 \times 10^{-4}$	$34.47 \times 10^{14}$	$3.22 \times 10^{-20}$	$5.7 \times 10^{-7}$	1436	1.04	کبد	$^{103}\text{Pd}$
1.9	$34.47 \times 10^{14}$	$5.5 \times 10^{-16}$	$6.4 \times 10^{-4}$	179.5	1.04	شکم	
$0.27 \times 10^{-4}$	$34.47 \times 10^{14}$	$0.8 \times 10^{-21}$	$8.8 \times 10^{-9}$	2143.5	0.296	ریه‌ها	
$0.68 \times 10^{-4}$	$34.47 \times 10^{14}$	$2 \times 10^{-21}$	$9.89 \times 10^{-9}$	267	1.04	کلیه‌ها	
96.9	$34.47 \times 10^{14}$	$2.8 \times 10^{-14}$	$1.24 \times 10^{-2}$	65	1.04	پروستات	
$9.68 \times 10^{-4}$	$42.3 \times 10^{14}$	$2.29 \times 10^{-19}$	$1.06 \times 10^{-5}$	1436	1.04	کبد	$^{131}\text{Cs}$
1.86	$42.3 \times 10^{14}$	$4.4 \times 10^{-16}$	$5.154 \times 10^{-4}$	179.5	1.04	شکم	
$7.61 \times 10^{-4}$	$42.3 \times 10^{14}$	$1.8 \times 10^{-19}$	$8.96 \times 10^{-7}$	2143.5	0.296	ریه‌ها	
$8.8 \times 10^{-4}$	$42.3 \times 10^{14}$	$2.1 \times 10^{-19}$	$4.8 \times 10^{-7}$	267	1.04	کلیه‌ها	
80	$42.3 \times 10^{14}$	$1.9 \times 10^{-14}$	$8.7 \times 10^{-3}$	65	1.04	پروستات	



شکل (۲): دز به دست آمده در پروستات و چند اندام حساس دیگر با استفاده از روش مونت کارلو



شکل (۳): مقایسه روش مونت کارلو در مرکز براکی تراپی مونت فیور

شکل (۳) مقایسه میان این تحقیق و مرکز براکی تراپی مونت فیور را نشان می‌دهد.

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق، شبیه‌سازی مونت کارلو بر اساس یک طرح واقعی از پروستات و اندام‌های نزدیک شکل گرفته است. مقدار دز رسیده به پروستات و همچنین چند اندام دیگر از سه منبع مختلف  $^{125}\text{I}$ ،  $^{103}\text{Pd}$  و  $^{131}\text{Cs}$  محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مدل شبیه‌سازی با نتایج حاصل از به کارگیری این سه چشمه [۵] در شکل (۳) مقایسه گردید. اختلاف مشاهده شده حدود ۰/۵٪، ۰/۸٪ و حدود ۰/۳٪ به ترتیب برای چشمه‌های  $^{131}\text{Cs}$ ،  $^{103}\text{Pd}$  و  $^{125}\text{I}$  در پروستات است.

همچنین نسبت دز دریافتی شکم به دز دریافتی پروستات برای چشمه  $^{131}\text{Cs}$  حدود ۲/۳٪ و این نسبت برای چشمه‌های  $^{103}\text{Pd}$  و  $^{125}\text{I}$  حدود ۱/۹٪ محاسبه شد. نسبت دز دریافتی سایر اندام‌ها به دز پروستات برای هر سه چشمه بین  $10^{-5}$  تا  $10^{-6}$  ۵-۱۰ گری محاسبه گردید. از نقطه‌نظر دزیمتری چشمه سزیم به علت نیمه عمر کمتر، میزان دز بالاتری دارد و بعد از آن به ترتیب پالادیم و ید. در عین حال هر سه ایزوتوپ به علت داشتن انرژی پایین و افت سریع دز در بافت سالم در کاربردهای براکی تراپی مناسب‌اند.

مقادیر مندرج در ستون ششم جدول حاکی از دز رسیده از هر ذره در تبدیل در اندام است. برای به دست آوردن دز انباشت، باید مقدار واپاشی کل هر رادیونوکلئید را محاسبه کنیم. تعداد کل تبدیل‌ها در اندام با هر منبع دانه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$U_s = \int_0^{\infty} A_0 e^{-\lambda t} dt \quad (1)$$

با در نظر گرفتن یک زمان نامتناهی واپاشی کل برای هر منبع دانه با توجه به فعالیت اولیه  $A_0$  فعالیت انباشت یا تعداد کل تبدیل‌های صورت گرفته در اندام که در ستون هفتم جدول درج شده است، از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$U_s = \frac{A_0}{\lambda} \quad (2)$$

$A_0$  = فعالیت اولیه (Bq) و  $\lambda$  = ثابت واپاشی ( $\text{Sec}^{-1}$ );

بنابراین مقدار دز کل رسیده به اندام به دست می‌آید.

$$D_{(organ)} = U_s (Bq - Sec)(S_{r_t \leftarrow r_s}) \quad (3)$$

که  $S$  همان دز جذب شده به ازای هر فعالیت انباشته شده از اندام چشمه ( $r_s$ ) به هدف ( $r_t$ ) است که در ستون ۶ جدول آمده است. ستون ۸ جدول نشان‌دهنده دز انباشت در هر اندام است که از حاصل ضرب  $U_t$  در ستون ۷ و مقدار  $S$  از ستون ۶ به دست آمده است. شکل (۲) دز رسوب یافته در پروستات و چند اندام حساس مورد نظر با هر منبع دانه را نشان می‌دهد.

#### مراجع

- [1] Briesmeister JF ,MCNP- A General Monte Carlo N-Particle transport code. Los Alamos national laboratory, version 4B, 1997, LA-126265.
- [2] M.Yazdani and A.A. Mowlavi, Determining TG-43 brachytherapy dosimetry parameters and dose distribution for a source model CS-1. Department of Physics, Tarbiat Moallem University of Sabzevar, Sabzevar, Iran. Iran. J. Radiat. Res., 2007, pp. 85-90.
- [3] MCNP modeling of prostate brachytherapy and organ dosimetry. Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A & M University.
- [4] Dan Theodorescu, MD, PhD, Paul Mellon Professor of Urologic Oncology, Prostate Cancer-Brachytherapy (Radioactive Seed Implantation Therapy), Department of Urology, University of Virginia Health Sciences Center.
- [5] R.Yaparalvi, J.Rossinow, W.A.Cavanagh, W.Choi, L.Minsky, N.Kahan, W.Bodner, M.Garg, S.Kalnicky, C.Guha. Montefiore Medical Center and the Albert Einstein Collage of Medicine, Brox, New York and The Haakon Ragde Foundation for Advanced Cancer Studies, Seattle,WA. Is Cs-131 or I-125 or Pd-103 the "Ideal" Isotope for Prostate Boost Brachytherapy?
- [6] سایت جامع علوم رادیولوژی.