

## تخمین دز پروستات و اندام‌های مجاور آن در حین براکی‌تراپی پروستات و بررسی پراکندگی

### بر میزان دز با استفاده از کد MCNP4C

سید میلاد وهابی\* و مجتبی شمسایی ظفرقندی

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

\*تهران، پل حافظ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، کد پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

پست الکترونیکی: Milad\_vahabi@aut.ac.ir

#### چکیده

با توجه به افزایش روزافزون کاربرد براکی‌تراپی در درمان تومورهای سرطانی، مخصوصاً سرطان پروستات، دزیمتری اندام‌های اطراف آن امری ضروریست. دز دریافتی پروستات بسیار بالاست و اندام‌های سالم اطراف آن نیز در معرض دز تابشی بالا هستند. در این مقاله علاوه بر محاسبه دز پروستات و اندام‌های اطراف آن با استفاده از کد مونت کارلو (MCNP4C)، تأثیر پراکندگی از پاها بر دز اندام‌های مربوطه در حین براکی‌تراپی ارزیابی شد. بدین منظور ابتدا انرژی رسیده به اندام‌ها برای چشمه ید-۱۲۵ بدست آمد. سپس دز رسیده در هر تبدیل در هر یک از این اندام‌ها با معلوم بودن حجم و جرمشان محاسبه شد و در نهایت با استفاده از فعالیت چشمه، میزان دز کل رسیده بدست آمد. دز اطراف پروستات به عنوان چشمه تابش، بسیار بالا و بیش از ۱۰۰ گری بدست آمد. مثانه، بیضه‌ها و کولن سیگموئید به دلیل نزدیکی به پروستات دز بالاتری نسبت به سایر اندام‌ها دریافت کردند که به ترتیب مقادیر ۹/۴۵، ۴/۸۳ و ۲/۸۸ گری است. اختلاف دز در دو حالت با احتساب و بدون احتساب پراکندگی از پاها برای بیضه‌ها و کولن سیگموئید به دلیل نزدیکی بیش از حد به پروستات بیشتر و به ترتیب حدود ۱۴/۵٪ و ۶/۳٪ بود و برای سایر اندام‌ها در محدوده لگن قابل توجه نبود.

کلید واژگان: براکی‌تراپی، کد MCNP4C، پروستات، دزیمتری.

#### ۱. مقدمه

داخل آن صورت می‌گیرد. هسته دانه در اثر پدیده گیراندازی الکترونی واپاشی کرده و در نتیجه فوتون گسیل می‌کند. فوتون‌های پرنانرژی در داخل پروستات گسیل شده و باعث از بین رفتن سلول‌های سرطانی می‌شوند. اولین ایزوتوپ معمول در براکی‌تراپی رادیوم-۲۲۶ بوده است اما ایزوتوپ‌های ساخت بشر از جمله ید-۱۲۵، سزیم-۱۳۱، پالادیوم-۱۰۳، ایریدیوم-۱۹۲ و طلا-۱۹۸ مزیت‌های بارزی از لحاظ امنیت در برابر تابش، انرژی، نیمه عمر و اندازه چشمه در مقایسه با

براکي‌تراپی یک روش درمانی موثر جهت از بین بردن سلول‌های سرطانی و جلوگیری از بازگشت دوباره آنها است. اگرچه مزیت‌های قابل توجهی تحت این روش درمانی وجود دارد، اما یک سری از مسائل مانند اثرات جانبی و امنیت تحت تابش قطعاً باید در نظر گرفته شوند. براکی‌تراپی اغلب برای مداوای معضلاتی چون سرطان پروستات و گاهی سرطان سر و گردن استفاده می‌شود. در براکی‌تراپی پروستات، عمل پرتودرمانی توسط کاشت دائمی یا موقتی دانه‌های پرتوزا در

رادیوم دارند و به همین جهت در حال حاضر جایگزین آن شده اند [۱]. ید-۱۲۵ و پالادیوم-۱۰۳ معمولترین ایزوتوپ ها در براکی تراپی هستند. ید-۱۲۵ انرژی بیشتر و نیمه عمر بالاتری نسبت به پالادیوم-۱۰۳ دارد. به همین دلیل این رادیونوکلیئید در اینجا در نظر گرفته شده است.

در سال ۲۰۰۳ یک مدل سازی از براکی تراپی پروستات و دزیمتری اندام های اطراف آن با استفاده از MCNP برای چشمه های ید-۱۲۵ و پالادیوم-۱۰۳ انجام شد که جهت تحقق آن از فانتومی که توسط نرم افزار Sabina bodybuilder مدل شده بود، استفاده شد [۲]. در سال ۲۰۰۶ محاسبات دز براکی-تراپی پروستات برای چشمه پالادیوم-۱۰۳ انجام شد [۳]. در سال ۲۰۱۰ همین محاسبات برای چشمه ید-۱۲۵ مدل ۶۷۳۳ انجام شد و توزیع سه بعدی دز برای پروستات بدست آمد [۴]. در سال ۲۰۱۱ براکی تراپی با کمک چشمه استوانه ای بتازای ساماریوم-۱۵۳ با استفاده از کد MCNP شبیه سازی شد و پارامترهای دزیمتری برای آن محاسبه شدند [۵]. در همین سال منحنی های هم دز برای براکی تراپی پروستات با کمک شبیه سازی MCNPX برای ۷۹ دانه ید-۱۲۵ بدست آمدند [۶]. اخیراً دز رسیده به پروستات و چند اندام حساس در براکی تراپی پروستات برای سه چشمه ید-۱۲۵، پالادیوم-۱۰۳ و سزیم-۱۳۱ با کمک کد MCNP4C محاسبه و ارزیابی شد. فانتوم مورد استفاده در این مقاله مکعبی شکل در نظر گرفته شده است. علاوه بر این اندام های مهمی که به پروستات نزدیکند از جمله مثانه و کولن سیگموئید در آن مدنظر قرار نگرفته است [۷].

برای شبیه سازی در این مقاله از فانتوم ORNL استفاده شد. Fisher و Snyder در سال ۱۹۶۶، یک فانتوم بزرگسال ایستاده را گسترش دادند. در این فانتوم برخی از اندام های کوچک همچون دست ها، انگشتان و چشم ها در دزیمتری تاثیری نداشتند. این دو دانشمند در سال ۱۹۶۷، فانتوم قبلی را

به یک فانتوم بزرگسال که شامل ۲۲ عضو داخلی و بیش از ۱۰۰ زیر ناحیه بود، گسترش دادند [۸]. در سال ۱۹۸۰ مجموعه جدیدی از مدل های مصنوعی با در نظر گرفتن سن و جنس در ORNL گسترش پیدا کردند که منطبق بر اطلاعات واقعی انسانی از جمله وزن هر عضو از بدن در هر سن خاص بودند [۹ و ۱۰]. بعد از اصلاحات فراوان فانتوم ها، بسیاری از مشکلاتی که در اجرای برنامه MCNP4C وجود داشت، مرتفع شد.

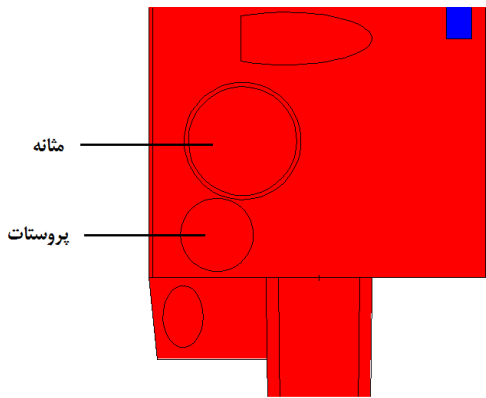
تمرکز این مقاله بر روی محاسبه دز دریافتی پروستات و اندام های سالم اطراف در یک فانتوم مرد بالغ در حین براکی تراپی و تاثیر پراکندگی بر میزان دز هر یک از اندام ها با استفاده از کد مونت کارلو MCNP4C است. دز دریافتی پروستات معمولاً قابل توجه بوده و در درمان های نوعی به بیش از ۱۰۰ گری می رسد. احتساب اجزای پراکنده ای که ممکن است سهمی در دز اندام های اصلی داشته باشند، در حین محاسبه دز مؤثر برای چشمه های گسیل کننده گاما که عمق نفوذ بیشتری در بافت دارند، چالشی بسیار جدی است که در این مقاله به این مورد مهم برای پاهای فانتوم پرداخته می شود.

## ۲. مواد و روش ها

برای محاسبه دز در این مقاله از کد MCNP4C و فانتوم ORNL استفاده شده است.

### ۱.۲. کد مونت کارلو MCNP4C

کد MCNP که در آزمایشگاه ملی لوس آلاموس توسعه یافته است، یک کد بین المللی شناخته شده جهت تجزیه و تحلیل ترابرد نوترون، پرتوهای گاما، و الکترون ها با استفاده از روش مونت کارلو می باشد. بنابراین این کد می تواند جهت تعیین و ارزیابی دز جذبی حاصل از تابش های مختلف در حجم معینی از عضو چشمه بکار رود [۱۱ و ۱۲]. برای براکی تراپی لازم است که چشمه به صورت دانه های رادیواکتیو در کارت چشمه قرار داده شود. چشمه ها بصورت نقطه ای و به تعداد ۹۸ دانه

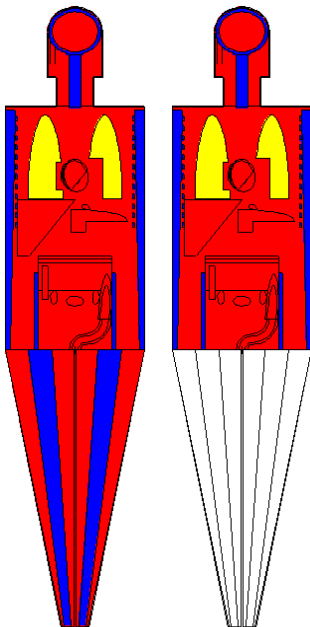


شکل (۱): نمای جانبی لگن در یک برش از فانتوم در نقطه  $x=0/5$  و موقعیت پروستات و مثانه در آن

### ۳. نتایج

کمیتی که به عنوان تالی محاسبه شد، میانگین انرژی جذب شده در هر تبدیل برای پروستات و هر یک از اندام‌های اطراف است. به منظور یافتن دز جذبی باید کل تعداد تبدیلات دانه-های براکی تراپی در مدت یک عمر متوسط ید-۱۲۵ محاسبه شود. رابطه بین عمر متوسط  $\tau$  و ثابت واپاشی  $\lambda$  به صورت زیر است:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$



شکل (۲): فانتوم ORNL شبیه‌سازی شده

ید-۱۲۵ که هر کدام فعالیت  $0/2$  میلی کوری دارند، انتخاب و در محل‌های مختلفی در پروستات توزیع شدند. ید-۱۲۵ از طریق فرآیند گیراندازی الکترون به هسته برانگیخته هسته ی  $^{125}\text{Te}$  با نیمه عمر  $1/6$  نانو ثانیه تبدیل می شود و سپس فوتون‌های گامای  $35/5$  کیلو الکترون ولتی گسیل می‌گردد. انرژی این فوتون‌هاست که در کارت SDEF کد وارد شده است و گاما‌های نابودی همچنان که در سایر مقالات نیز بررسی نشده‌اند، در این مقاله مورد بررسی قرار نمی‌گیرند [۲ و ۷ و ۱۳]. مد مورد نظر در اینجا الکترون و فوتون (mode p e) است. میزان انرژی رسیده به اندام‌ها در ابتدا با استفاده از تالی F8\* در اثر اندرکنش‌های فوتون و الکترون محاسبه شد [۷]. مدت زمان اجرا به دلیل پیچیدگی شبیه‌سازی ترابرد الکترون طولانی است. جهت کاهش زمان محاسبات می‌توان از تالی‌های F4 و F6 برای مد فوتونی استفاده کرد [۳]. تعداد ذرات برای این شبیه‌سازی  $3 \times 10^6$  در نظر گرفته شد.

### ۲.۲. فانتوم ORNL

این فانتوم فاقد پروستات است. بدین منظور پروستات بصورت دستی و به عنوان یک بافت نرم به کد مربوطه اضافه شده است. جهت سهولت، پروستات بصورت کره‌ای با شعاع  $2/2$  سانتیمتر و به مرکز  $(0, -6/0025, 2/505)$  در پائین مثانه در نظر گرفته شد [۱۴]. شکل ۱ نمایی از لگن خاصره در حالتی که یک برش از فانتوم در نقطه  $x=0/5$  زده شده است، را نشان می‌دهد.

جهت تعیین سهم پراکندگی از پاها، لازم است محاسبه دز در دو حالت با احتساب پاها و بدون در نظر گرفتن آنها انجام شود. بدین منظور فانتوم باید دستخوش تغییری اساسی گردد. به منظور حذف پاها از فانتوم شماره ماده و چگالی آن در سلولی که پاها در آن قرار دارند، برداشته شد و برابر با صفر قرار گرفت. نمایی از فانتوم اصلی و فانتومی که پاها در آن حذف شده، در شکل ۲ نشان داده شده است.

با توجه به اینکه نیمه عمر یید ۱۲۵ برابر با ۵۹/۴۳ روز می باشد، حاصله در تعداد کل تبدیلات، دز جذبی بدست می آید. تمام عمر متوسط آن برابر با ۸۶ روز است. بنابراین تعداد کل تبدیلات  $U_s$  به صورت زیر خواهد بود:

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

که  $A_0$  فعالیت اولیه بر حسب بکرل است. در انتها با تقسیم انرژی جذب شده بر جرم هر یک از اندامها و ضرب نتیجه

جدول (۱): نتایج بدست آمده با احتساب پراکندگی پاها

| اندامها               | حجم ( $\text{cm}^3$ ) | بر هر تبدیل<br>(MeV/trans) | هر تبدیل<br>(Gy/trans) | دز جذب شده بر<br>خطای نسبی | دز کل (Gy) |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|------------|
| روده کوچک             | ۱۰۶۰                  | ۵/۲۱e-۵                    | ۷/۷۶e-۱۸               | ۰/۰۱۴۰                     | ۴/۱۷e-۲    |
| دیواره کولن نزولی     | ۸۹/۹                  | ۱/۵۴e-۵                    | ۲/۶۳e-۱۷               | ۰/۰۲۵۲                     | ۱/۴۱e-۱    |
| محتویات کولن نزولی    | ۱۰۲                   | ۱/۷۶e-۵                    | ۲/۶۵e-۱۷               | ۰/۰۲۳۷                     | ۱/۴۲e-۱    |
| دیواره کولن سیگموئید  | ۷۰/۴                  | ۲/۶۴e-۴                    | ۵/۳۷e-۱۶               | ۰/۰۰۶۳                     | ۲/۸۸       |
| محتویات کولن سیگموئید | ۳۵/۶                  | ۱/۲۱e-۴                    | ۵/۲۲e-۱۶               | ۰/۰۰۹۰                     | ۲/۸۰       |
| بیضه‌ها               | ۳۷/۶                  | ۲/۲۰e-۴                    | ۹/۰۰e-۱۶               | ۰/۰۰۶۷                     | ۴/۸۳       |
| دیواره مثانه          | ۴۵/۷                  | ۵/۲۵e-۴                    | ۱/۷۶e-۱۵               | ۰/۰۰۴۳                     | ۹/۴۵       |
| محتویات مثانه         | ۲۰۳                   | ۲/۰۴e-۳                    | ۱/۵۴e-۱۵               | ۰/۰۰۲۲                     | ۸/۲۷       |
| پروستات               | ۴۴/۵۸                 | ۵/۸۶e-۳                    | ۲/۰۲e-۱۴               | ۰/۰۰۱۲                     | ۱۰۸/۵      |

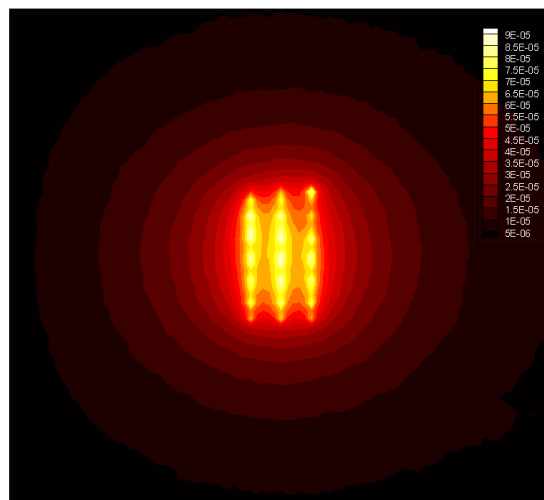
جدول (۲): نتایج بدست آمده بدون در نظر گرفتن پراکندگی از پاها

| اندامها               | حجم ( $\text{cm}^3$ ) | بر هر تبدیل<br>(MeV/trans) | هر تبدیل<br>(Gy/trans) | دز جذب شده بر<br>خطای نسبی | دز کل (Gy) |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|------------|
| روده کوچک             | ۱۰۶۰                  | ۵/۱۹e-۵                    | ۷/۵۳e-۱۸               | ۰/۰۱۴۰                     | ۴/۰۵e-۲    |
| دیواره کولن نزولی     | ۸۹/۹                  | ۱/۵۲e-۵                    | ۲/۶۰e-۱۷               | ۰/۰۲۵۳                     | ۱/۳۹e-۱    |
| محتویات کولن نزولی    | ۱۰۲                   | ۱/۷۴e-۵                    | ۲/۶۲e-۱۷               | ۰/۰۲۳۸                     | ۱/۴۰e-۱    |
| دیواره کولن سیگموئید  | ۷۰/۴                  | ۲/۳۱e-۴                    | ۵/۰۴e-۱۶               | ۰/۰۰۶۵                     | ۲/۷۱       |
| محتویات کولن سیگموئید | ۳۵/۶                  | ۱/۱۳e-۴                    | ۴/۸۸e-۱۶               | ۰/۰۰۹۳                     | ۲/۶۲       |
| بیضه‌ها               | ۳۷/۶                  | ۱/۹۲e-۴                    | ۷/۸۷e-۱۶               | ۰/۰۰۷۰                     | ۴/۲۲       |
| دیواره مثانه          | ۴۵/۷                  | ۵/۲۲e-۴                    | ۱/۷۵e-۱۵               | ۰/۰۰۴۳                     | ۹/۴۰       |
| محتویات مثانه         | ۲۰۳                   | ۲/۰۳e-۳                    | ۱/۵۳e-۱۵               | ۰/۰۰۲۲                     | ۸/۲۱       |
| پروستات               | ۴۴/۵۸                 | ۵/۸۳e-۳                    | ۲/۰۱e-۱۴               | ۰/۰۰۱۲                     | ۱۰۷/۹      |

ستون سوم جدول، میزان انباشت انرژی برای یک ذره است. داده‌های این ستون با استفاده از ضریب تبدیل  $10^{-10}$  تا  $1.6 \times 10^{-10}$  و جرم هر یک از اندام‌ها به دز جذب‌شده برای یک ذره تبدیل می‌شود که در ستون چهارم نشان داده شده است. سپس با ضرب داده‌های این ستون در تعداد کل تبدیلات، میزان دز انباشت در هر یک از اندام‌ها بدست می‌آید. مقادیر دز رسیده به هر یک از اندام‌ها با استفاده از تالی‌های F4 و F6 نیز بدست آمد که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. تالی \*F8 مدت زمان بیشتری برای اجرا نیاز دارد زیرا برای این تالی مد الکترونی نیز در نظر گرفته شده است. توزیع دز پروستات که با استفاده از کد MCNPX بدست آمده، در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول (۳): مقادیر دز رسیده به هر یک از اندام‌ها به ازای تالی‌های \*F8، F6 و F4

| اندام‌ها              | احتساب پاها |        |        | بدون احتساب پاها |        |        |
|-----------------------|-------------|--------|--------|------------------|--------|--------|
|                       | *F8         | F6     | F4     | *F8              | F6     | F4     |
| روده کوچک             | ۰/۰۴۱۷      | ۰/۰۴۰۷ | ۰/۰۴۰۱ | ۰/۰۴۰۵           | ۰/۰۴۰۴ | ۰/۰۴۰۲ |
| دیواره کولن نزولی     | ۰/۱۴۱       | ۰/۱۴۵  | ۰/۱۴۲  | ۰/۱۳۹            | ۰/۱۴۲  | ۰/۱۴۲  |
| محتویات کولن نزولی    | ۰/۱۴۲       | ۰/۱۴۳  | ۰/۱۴۱  | ۰/۱۴۰            | ۰/۱۴۲  | ۰/۱۴۱  |
| دیواره کولن سیگموئید  | ۲/۸۸        | ۲/۹۲   | ۲/۹۱   | ۲/۷۱             | ۲/۶۹   | ۲/۶۷   |
| محتویات کولن سیگموئید | ۲/۸۰        | ۲/۷۹   | ۲/۷۹   | ۲/۶۲             | ۲/۶۰   | ۲/۵۹   |
| بیضه‌ها               | ۴/۸۳        | ۴/۸۱   | ۴/۸۰   | ۴/۲۲             | ۴/۲۲   | ۴/۲۰   |
| دیواره مثانه          | ۹/۴۵        | ۹/۵۰   | ۹/۴۵   | ۹/۴۰             | ۹/۴۶   | ۹/۴۲   |
| مثانه                 | ۸/۲۷        | ۸/۳۲   | ۸/۲۷   | ۸/۲۱             | ۸/۲۳   | ۸/۲۰   |
| پروستات               | ۱۰۸/۵       | ۱۰۷/۹  | ۱۰۷/۹  | ۱۰۷/۹            | ۱۰۷/۷  | ۱۰۷/۲  |

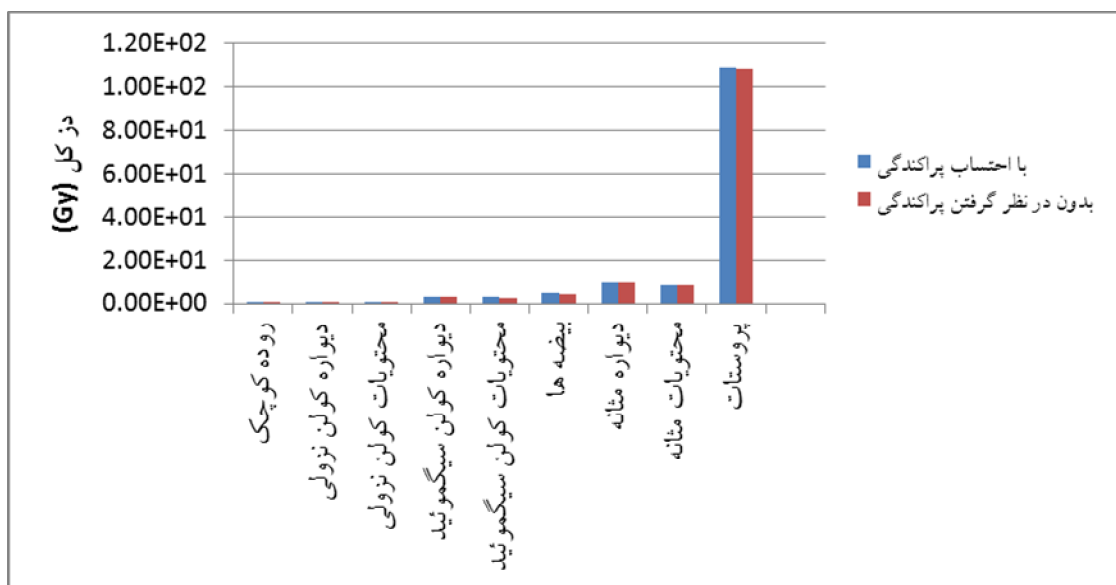


شکل (۳): توزیع دز در پروستات

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

از جداول ۱ و ۲ مشاهده می شود که دز پروستات در هر دو حالت بالاتر از ۱۰۰ گری است که این مقدار دز برای براکی-تراپی دور از انتظار نیست. همچنین بیضه ها، مثانه و کولن

سیگموئید به دلیل نزدیکی به پروستات به ترتیب دز بالاتری نسبت به سایر اندامها دریافت می کنند. مقایسه دز هر یک از اعضا در هر حالت به صورت نمودار میله ای در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل (۴): مقایسه بین دزهای دریافتی پروستات و اندامهای اطراف آن در حین براکی تراپی

مشاهده می شود که اختلاف میزان دز در دو حالت برای بیضه ها (۱۴/۵٪) و کولن سیگموئید (۶/۳٪) از سایر اندامها بیشتر است و آن هم به علت نزدیکی بیش از حد به پروستات می باشد. این اختلاف برای پروستات و مثانه اندک است. این امر نشان دهنده آن است که ذراتی که به سمت پاها می روند و با آن ها برهم کنش نمی کنند، محال است که از پاها پراکنده شوند، به این نواحی برگردند و دوباره برهم کنش کنند. میزان دز رسیده به روده کوچک و سایر اندامهایی که از ناحیه پاها دورند، در دو حالت بسیار ناچیز است. این امر نشان دهنده آن است که ذرات چشمه بایستی مسیر زیادی را از اندامهای مابین عبور کنند تا به این اندامها برسند و بنابراین امکان انباشت انرژی در این اندامها بسیار پایین بوده و طبیعتاً اختلاف دو حالت برای این اندامها ناچیز است. بنابراین در نهایت پراکندگی از پاها بجز در بیضه ها و کولن سیگموئید نمی تواند عملاً بر محاسبات دز در ناحیه لگن خاصره تأثیر قابل ملاحظه-

ای بگذارد و همین موضوع کارآمد بودن این روش را جهت دزیمتری و انجام تست های اطمینان نشان می دهد. با توجه به اینکه هر کدام از ۹۸ دانه ید-۱۲۵ فعالیت ۰/۲ میلی کوری دارند، فعالیت کل چشمه برابر با ۱۹/۶ میلی کوری خواهد بود. این بدان معنی است که در هر ثانیه ۷۲۵/۲ میلیارد ذره در هر ثانیه از کل چشمه گسیل می شود. با فرض آنکه هر ذره تمام انرژی خود را فقط در پروستات بجا بگذارد، مقدار کل انرژی انباشت شده در پروستات در یک ثانیه برابر با ۴ میکروژول خواهد شد. بنابراین آهنگ بیشینه انرژی انتقالی در یک عمر متوسط چشمه برابر با ۳۰ ژول می گردد. با توجه به جدول ۱ اگر مقدار انرژی هر کدام از اندامها با یکدیگر جمع شود، حدوداً ۷/۵ ژول انرژی کل رسیده به پروستات و اندام های اطراف آن است که این مقدار یک چهارم برابر کل انرژی تولیدی توسط چشمه در این عمر متوسط است. آنچه که می توان در رابطه با این اختلاف استدلال نمود آن است که اولاً در

۱) در این مقاله پروستات به صورت دستی، ایده‌آل و به شکل کروی در کد اعمال شده است که دقیق نبوده و در اکثر موارد برای مردان اینگونه نیست. اندازه و شکل پروستات بیماران مختلف با هم تفاوت دارد و بایستی در موارد عملی و بالینی به صورت جداگانه و خاص برای هر بیمار در نظر گرفته شود.

۲) عامل سن بایستی در نظر گرفته شود. در اینجا از فانتوم مرد ۱۸ ساله استفاده شده است. اگرچه اختلاف اندازه و موقعیت اندام‌ها بین مردان بالغ و مسن عموماً در محدوده میلیمتر است و خللی در محاسبات وارد نمی‌کند، اما باز هم می‌تواند باعث ایجاد خطا شود.

بین اندام های مذکور بافت نرم وجود دارد و مقداری از این انرژی حتماً جذب آن خواهد شد. ثانیاً اندام های دیگری نیز در فانتوم ORNL وجود دارند که مقداری از انرژی انباشت به آنها اختصاص داده خواهد شد. ثالثاً و از همه مهمتر با توجه به موقعیت پروستات که در حاشیه فانتوم (شکل ۱) قرار دارد، اکثریت فوتونها از بدن بیمار یا فانتوم خارج می شوند و انرژی را به بیرون از فانتوم می برند.

اگرچه سعی شده است که این شبیه‌سازی مبتنی بر واقعیت باشد اما یک سری عوامل را می‌توان در مطالعات آینده مدنظر قرار داد:

## ۵. مراجع

- [1] F. M. Khan. The physics of radiation therapy. Fourth edition, Williams and Wilkins, (2010)
- [2] S. R. Usgaonker. MCNP modeling of prostate brachytherapy and organ dosimetry, (2003)
- [۳] رئیس‌علی، غلامرضا. مخلص گرامی، فریبا. خدادادی، رضا. پیروزر، بهناز. تعیین ویژگیهای دزیمتری چشمه‌های براکی‌تراپی کم‌انرژی براساس دستور کار TG-43U1 با روشهای مختلف محاسبه دز در کد MCNP. مجله علوم و فنون هسته‌ای، شماره ۳۵، (۱۳۸۴) صفحات ۲۹-۳۶.
- [4] M. Baradaran-Ghahfarokhi, M. A. Mosleh-Shirazi, R. Faghihi, M. H. Bagheri, K. Hadad, A. Alavian-Ghavanini, Z. Siavashpour, H. Kasayi. Calculation of changes in radiation exposure due to prostate displacement in permanent prostate brachytherapy. Middle East journal of cancer (2010) 123-128.
- [5] F. Taghdiri1, M. Sadeghi, S.H. Hosseini1, M. Athari. TG-60 dosimetry parameters calculation for the  $\beta$ -emitter  $^{153}\text{Sm}$  brachytherapy source using MCNP. Iran. J. Radiat. Res. (2011) 103-108.
- [6] J. P. Reis Junior, A. F. Menezes, H. A. Salmom, J. A. C. C. Medeiros, A. N. S. S. Facure, A. X. Silva. Isodose curve determination of prostate for the treatment of brachytherapy using MCNPX code. International Nuclear Atlantic Conference, Belo Horizonte, MG, Brazil(2011) 24-28.
- [۷] احمدی، پروین. شمسایی ظفرقندی، مجتبی. ارزیابی دز رسیده به پروستات و چند اندام حساس در براکی‌تراپی پروستات با استفاده از کد مونت کارلو در سه رادیوایزوتوپ  $^{131}\text{Cs}$ ،  $^{103}\text{Pd}$  و  $^{125}\text{I}$ . مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱، (۱۳۹۱) شماره ۱
- [8] H. L. J. Fisher, W. S. Snyder. Distribution of dose in the body from a source of gamma rays distributed uniformly in an organ. ORNL 4168 (1967) 245-57.
- [9] M. Christy. Mathematical Phantom representing children of various ages for use in estimates of internal dose ORNL/NURE/TM-367, (1980).
- [10] ICRP. Report on the task group on Reference Man, ICRP-23 (International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press), (1975).

- [11] J. F. Briesmeister. MCNP<sup>TM</sup>-A general Monte Carlo N-particle transport code: version 4C, Los Alamos National Laboratory. Report LA-13709-M (Los Alamos, NM), (2000).
- [12] J.K. Shultis. An MCNP Primer. Dept. of Mechanical and Nuclear Engineering, (2010).
- [13] M. I. Resnick, I. M. Thompson. Advanced therapy of prostate disease. Volume 1 (2000).
- [14] A.T. Monroe, F. O. Faricy, S. B. Jennings, R. D. Biggers, G. L. Gibbs, A. V. Peddada. High-dose-rate brachytherapy for large prostate volumes (> or =50cc)-Uncompromised dosimetric coverage and acceptable toxicity. Brachytherapy (2008) 7-11.