مقاله کنفرانسی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱، شمارهٔ ٤، زمستان (ویژه‌نامه) ۱٤۰۱، صفحه ۵-۸

ششمین کنفرانس سنجش و ایمنی پرتوهای یون‌ساز و غیریون‌ساز (مردادماه ۱٤۰۰)

تاریخ دریافت مقاله: ۱٤۰۰/۰۷/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱٤۰۱/۰۵/۰۸

# ارزیابی میزان عدم قطعیت دز دریافتی در پروتون‌درمانی سرطان پروستات با روش مونت‌کارلو

**هانیه میرزایی[۱]، علیرضا کریمیان[۲*] و محمدحسن علامت‌ساز[۱]**

[۱]دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

[۲]گروه مهندسی پزشکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

[*]اصفهان، دانشگاه اصفهان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پزشکی، کدپستی: ۸۱۷٤٦۷۳٤٤۱

پست‌الکترونیکی: karimian@eng.ui.ac.ir

## چکیده

پروتون‌درمانی یکی از روش‌های درمان سرطان پروستات می باشد. مزیت اساسی این روش وجود پدیده‌ای به نام قله براگ در منحنی عمق-دز پروتون می‌باشد، به‌طوری که انرژی باریکه به مقدار بسیار زیاد و دقیقی در بافت سرطانی نهشت می‌یابد. از آن‌جایی که پروستات عضوی ثابت نیست و حرکت های غیر ارادی ناشی از نفخ دستگاه گوارشی در محدوده ۱ تا ۷ میلی‌متر در بدن دارد، باعث به وجود آمدن تغییر در دز کلی جذب‌شده می‌شود. در این پژوهش با استفاده از کد شبیه‌سازی FLUKA که بر اساس روش عددی مونت‌کارلو محاسبات را انجام می‌دهد، تغییرات دز کلی جذب‌شده با در نظر گرفتن جابه‌جایی پروستات بررسی گردید. ابتدا فانتوم مورد استفاده شبیه‌سازی شده و با توجه به قرار گرفتن پروستات در عمق ۱۵ سانتی‌متر در بدن، انرژی مورد نیاز این پرتو جهت تشکیل قله براگ در بافت سرطانی مقدار ۱٤۸ MeV با دقت ۰/۰۲ درصد محاسبه و استفاده شده است. دز کلی جذب‌شده به ازای یک ذره پروتون در حالتی که پروستات و تومور در مبدأ مختصات قرار دارند، ۲/۷ nGy می‌باشد. ۹۹/۹ درصد دز کلی جذب شده به مجموعه بافت تومور و پروستات می‌رسد و به سایر بافت‌های اطراف پروستات آسیبی وارد نمی‌کند. دلیل این اتفاق وجود قله براگ می‌باشد که تمامی انرژی جذب شده در این ناحیه است. با حرکت پروستات به اندازه ۷ میلی‌متر در راستای عمود بر باریکه پروتون، مقدار دز کلی جذب‌شده در اندام پروستات به میزان ۲/۲٪ کاهش و همچنین با حرکت به اندازه ۳ میلی‌متر در راستای باریکه پروتون مقدار دز کلی جذب‌شده در اندام پروستات به میزان ٦/٦٦٪ کاهش می‌یابد.

**کلیدواژگان**: سرطان پروستات، پروتون‌درمانی، عدم قطعیت، دز دریافتی، کد شبیه‌سازی FLUKA.

## ۱. مقدمه

سرطان پروستات دومین عامل مرگ‌ومیر در مردان سراسر دنیا به‌شمار می‌آید [۱]. پروتون‌درمانی یکی از روش‌های درمان سرطان پروستات می‌باشد که در آن با استفاده از باریکه پروتون با انرژی در گستره انرژی‌های درمانی بین ۷۰ MeV تا ۲۵۰ MeV توده های سرطانی مورد هدف قرار می‌گیرند. مزیت اساسی این روش وجود پدیده‌ای به نام قله براگ در منحنی عمق- دز پروتون می‌باشد. پدیده مذکور این امکان را فراهم می‌کند که انرژی باریکه به مقدار بسیار زیاد و دقیقی در بافت سرطانی نهشت یابد. از آن‌جایی که پروستات عضوی ثابت نیست و حرکت‌های غیر ارادی ناشی از نفخ

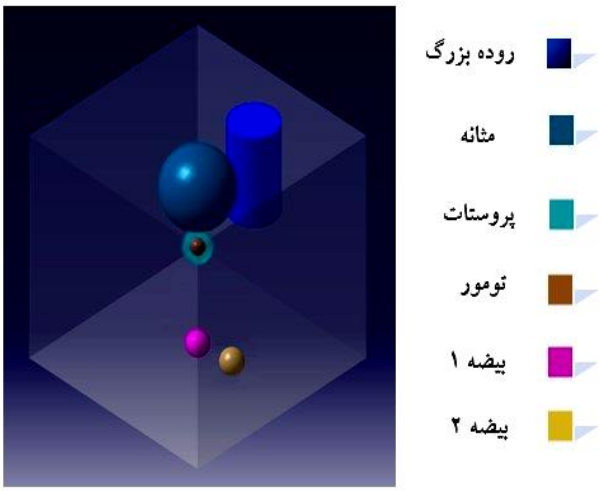
دستگاه گوارشی در محدوده ۱ تا ۷ میلی‌متر در بدن دارد [۲]، لذا این جابه‌جایی باعث به‌وجود آمدن تغییر در دز کلی جذب شده می‌شود [۳].

در این تحقیق دز کلی جذب‌شده در اندام‌های پروستات، مثانه، روده بزرگ و بیضه‌ها در موقعیت‌های مکانی متفاوت پروستات با استفاده از کد شبیه‌سازی FLUKA که براساس روش عددی مونت کارلو محاسبات را انجام می‌دهد، محاسبه شده است.

## ۲. روش انجام تحقیق

در این پژوهش با استفاده از کد شبیه‌سازی FLUKA در حالتی که پروستات و تومور مطابق شکل ۱ در مرکز مختصات و بدون جابه‌جایی قرار دارند، میزان دز کلی جذب شده در اندام پروستات و تومور، مثانه، روده بزرگ و بیضه ها محاسبه شده است.

سپس پروستات و تومور به اندازه ۳ میلی‌متر در راستای باریکه پروتون (محور Z) و به اندازه ۷ میلی‌متر در راستای عمود بر باریکه پروتون (محور X) حرکت داده شده است و دز کلی جذب شده به‌ازای این جابه‌جایی‌ها در پروستات و دیگر اندام‌ها محاسبه شده است.




**شکل (۱): حالتی که پروستات و تومور در مبدأ مختصات قرار دارند.**

### ۱.۲. مشخصات فانتوم

مشخصات هندسی فانتوم مدل‌سازی شده، مطابق با جدول ۱ می‌باشد.

**جدول (۱): مشخصات هندسی فانتوم شبیه‌سازی شده.**

| اندام | هندسه | مختصات(X,Y,Z) |
|---|---|---|
| **لگن** | مکعبی به ضلع ۳۰ سانتی متر | مرکز مکعب (۰،۰،۰) |
| **تومور** | کره ای به شعاع ۰/۵سانتی متر | مرکز کره (۰،۰،۰) |
| **پروستات** | کره ای به شعاع ۲/۵ سانتی متر | مرکز کره (۰،۰،۰) |
| **مثانه** | کره ای به شعاع ۵ سانتی متر | مرکز کره (۹،۰،۰) |
| **روده بزرگ** | استونه ای به ارتفاع ۱۲ سانتی متر و شعاع ۳/۵ سانتی متر | دایره وجه رویی (۰،۱۰-،۱۲-) |
| **بیضه‌ها** | دوکره به شعاع ۱/٦ سانتی متر | مختصات مرکز (۰،۱/۷،۱۳-)و(۰،۱/۷-،۱۳-) |

و چگالی هر یک از اندام‌ها نیز مطابق جدول ۲ می‌باشد.

**جدول (۲): مقدار چگالی اندام‌های شبیه‌سازی شده.**

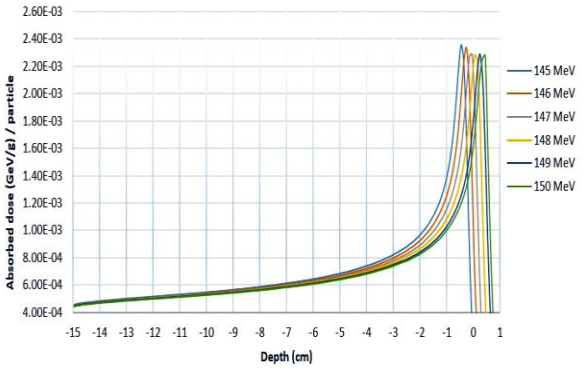
| تومور | لگن | بیضه | مثانه | پروستات | روده بزرگ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱/۰٦ | ۱ | ۱/۰٤ | ۱/۰۲ | ۱/۰٤ | ۱ | چگالی ($g/cm^3$) |

### ۲.۲. چشمه

فاصله مرکز تومور و پروستات تا سطح پوست ۱۵ سانتی‌متر و قطر پرتو تابشی پروتون ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شده است، بنابر این لازم است انرژی‌ای برای این پرتو انتخاب شود که بیشینه دز دریافتی دقیقاً بر روی این فاصله قرار گیرد. انجمن ملی استانداردها و تکنولوژی آمریکا[1] مقادیر عمق – دز باریکه پروتون را برای انرژی‌های زیادی در مواد گوناگونی محاسبه نموده است[٤]. انرژی محاسبه شده توسط این انجمن برای عمق ۱۵/۲ سانتی متری مقدار ۱٤۸ مگا الکترون ولت می‌باشد. درشکل ۲ منحنی عمق – دز به ازای انرژی‌های مختلف باریکه‌ی پروتون فرودی رسم شده است، که داده‌های آن توسط کد شبیه‌سازی FLUKA و با توجه به فانتوم توضیح داده شده به دست آمده است. این نمودار نشان می‌دهد هر چه مقدار انرژی بیشتر شود، قله براگ در فاصله دورتری تشکیل

[1] NIST (National Institute of Standard and Technology)

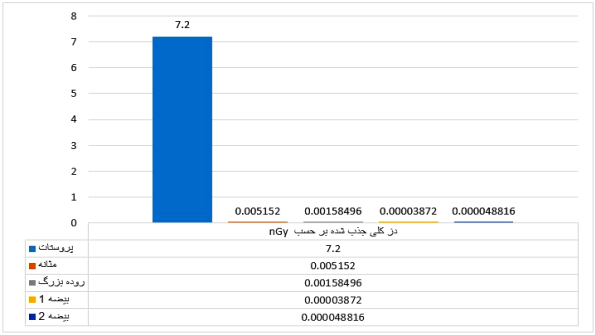
می‌شود. مطابق با این شکل انرژی مورد نیاز پرتوی فرودی جهت تشکیل قله براگ در عمق ۱۵ سانتی‌متری مقدار ۱۴۸ مگاالکترون ولت می‌باشد. مقدار خطای عمق محاسبه شده به ازای انرژی ۱۴۸ مگا الکترون ولت با کد شبیه‌سازی FLUKA و انجمن ملی استانداردها و تکنولوژی آمریکا ۱/۳ درصد می‌باشد که این مقدار خطا قابل قبول می‌باشد.




**شکل (۲): منحنی عمق – دز انرژی‌های مختلف باریکه‌ی پروتون.**

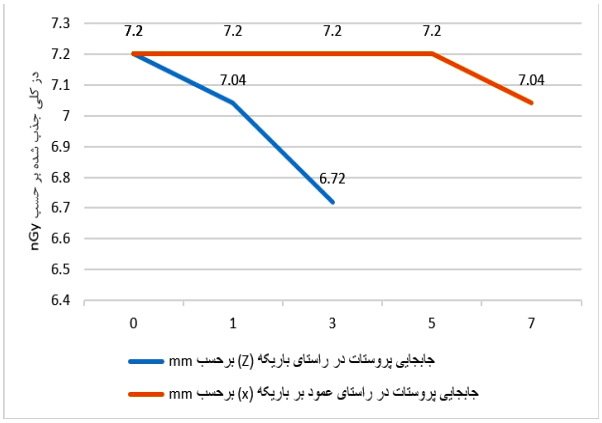
## ۳. نتیجه‌گیری

دز کلی جذب‌شده به ازای یک ذره پروتون درحالتی که پروستات در مرکز مختصات قرار دارد در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود ۹۹/۹۰ درصد دز کلی جذب شده به مجموعه بافت تومور و پروستات می‌رسد و به سایر بافت‌ها آسیبی وارد نمی‌کند. دلیل این اتفاق وجود قله براگ می‌باشد که تمامی انرژی جذب شده در این ناحیه است. این خاصیت برتری و وجه تمایز روش پروتون‌درمانی با روش‌های دیگر پرتودرمانی می‌باشد.




**شکل (۳): دز کلی جذب شده به ازای یک ذره پروتون در حالتی که پروستات در مرکز مختصات قرار دارد.**

حال پروستات به اندازه ۷ میلی‌متر در راستای عمود بر باریکه و ۳ میلی‌متر در راستای باریکه جابه‌جا می‌شود، میزان دز دریافتی مجموعه بافت پروستات و تومور در شکل ٤ نشان داده شده است.




**شکل (٤): دز کلی جذب شده بافت پروستات و تومور برحسب جابه‌جایی.**

میزان تغییر دز کلی جذب شده پروستات در جابه‌جایی عمود بر باریکه مقدار ۲/۲ درصد می باشد و میزان تغییر دز کلی جذب شده پروستات در جابه‌جایی در راستای باریکه مقدار ٦/٦٦ درصد می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت، عدم قطعیت دز کلی جذب شده به‌ازای یک ذره پروتون زمانی که پروستات در راستای باریکه حرکت می کند، نسبت به حالتی که پروستات در راستای عمود بر باریکه حرکت می کند بیشتر است، که این مهم به‌دلیل بسیار کوچک‌تر بودن قطر پرتو تابشی پروتون نسبت به قطر پروستات تحت درمان و هم‌چنین تأثیر جابه‌جایی پروستات و تومور در راستای باریکه بر محل قله براگ می‌باشد.

لازم به ذکر است مقادیر دز محاسبه شده در این پژوهش برای یک ذره پروتون بوده است ولی در عمل جهت درمان سرطان پروستات بسته به جریان دستگاه پروتون درمانی، تعداد ذرات پروتون از مرتبه $10^{11}$ ذره می‌باشد.

## ۵. مراجع

1. Z. Aghaei, A. Karimian , M. H. Alamatsaz. Assessment of absorbed dose uncertainty of prostate due to tissue swelling and radioactive sources displacement in brachytherapy by Monte Carlo method. *Iranian J. Physics Res*. 20 (4) (2021) 599-613.
2. X. Tong, X. chen. Intrafractional prostate motion during external beam radiotherapy monitored by a real-time target localization system. *Clinical Med. Phys.* 16 (2015) 8-16.
3. M. Akbari, A. Karimian. Impact of anatomical changes on radiation absorbed dose of prostate and bladder in a potential scenario of magnetic resonance imaging (MRI)-guided carbon-ion radiotherapy (MRgCT) of prostate cancer. *Measurement* 171 (2021) 108772.
4. M. J. Berger. Penetration of proton beams through water I. Depth-dose distribution, spectra and LET distributio. *NIST Pub*. (1993) 19-30.