



ارزیابی میزان عدم قطعیت دز دریافتی در پروتون درمانی سرطان پروستات با روش مونت کارلو

هانیه میرزایی^۱، علیرضا کریمیان*^۲، محمد حسن علامت ساز^۳

^۱ کارشناس ارشد فیزیک هسته ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

^۲ دانشیار گروه مهندسی پزشکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

^۳ دانشیار گروه فیزیک هسته ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

* اصفهان، اصفهان، دانشگاه اصفهان، دانشکده فنی و مهندسی، کدپستی: ۸۱۷۴۶۷۳۴۴۱

پست الکترونیکی: karimian@eng.ui.ac.ir

چکیده

پروتون درمانی یکی از روش های درمان سرطان پروستات می باشد. مزیت اساسی این روش وجود پدیده ای به نام قله براگ در منحنی عمق-دز پروتون می باشد، به طوری که انرژی باریکه به مقدار بسیار زیاد و دقیقی در بافت سرطانی نهشت می یابد. 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 جذب شده می شود. در این پژوهش با استفاده از کد شبیه سازی FLUKA که بر اساس روش عددی مونت کارلو محاسبات را انجام می دهد، تغییرات دز کلی جذب شده با در نظر گرفتن جابه جایی پروستات بررسی گردید. ابتدا فانتوم مورد استفاده شبیه سازی شده و با توجه به قرار گرفتن پروستات در عمق ۱۵ سانتی متر در بدن، انرژی مورد نیاز این پرتو جهت تشکیل قله براگ در بافت سرطانی مقدار 148 MeV با دقت 0.02% درصد محاسبه و استفاده شده است. دز کلی جذب شده به ازای یک ذره پروتون در حالتی که پروستات و تومور در مبدا مختصات قرار دارند، $2/7 \text{ nGy}$ می باشد. $99/9\%$ درصد دز کلی جذب شده به مجموعه بافت تومور و پروستات می رسد و به سایر بافت های اطراف پروستات آسیبی وارد نمی کند. دلیل این اتفاق وجود قله براگ می باشد که تمامی انرژی جذب شده در این ناحیه است. با حرکت پروستات به اندازه ۷ میلی متر در راستای عمود بر باریکه پروتون، مقدار دز کلی جذب شده در اندام پروستات به میزان $2/2\%$ کاهش و همچنین با حرکت به اندازه ۳ میلی متر در راستای باریکه پروتون مقدار دز کلی جذب شده در اندام پروستات به میزان $6/6\%$ کاهش می یابد.

کلیدواژگان: سرطان پروستات، پروتون درمانی، عدم قطعیت، دز دریافتی، کد شبیه سازی FLUKA

۱. مقدمه

مزیت اساسی این روش وجود پدیده ای به نام قله براگ در منحنی عمق-دز پروتون می باشد. پدیده مذکور این امکان را فراهم می کند که انرژی باریکه به مقدار بسیار زیاد و دقیقی در بافت سرطانی نهشت یابد، 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 [۲]، لذا این

سرطان پروستات دومین عامل مرگ و میر در مردان سراسر دنیا به شمار می آید [۱]. پروتون درمانی یکی از روش های درمان سرطان پروستات می باشد که در آن با استفاده از باریکه پروتون با انرژی در گستره انرژی های درمانی بین 70 MeV تا 250 MeV توده های سرطانی مورد هدف قرار می گیرند.



جدول ۱: مشخصات هندسی فانتوم شبیه سازی شده

اندام	هندسه	مختصات (X,Y,Z)
لگن	مکعبی به ضلع ۳۰ سانتی متر	مرکز مکعب (۰،۰،۰)
تومور	کره ای به شعاع ۰/۵ سانتی 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	استونیه ای به ارتفاع ۱۲ سانتی متر و شعاع ۳/۵ سانتی متر	دایره وجه رویی (۱۲،-۱۰،۰)
بیضه ها	دو کره به شعاع ۱/۶ سانتی متر	مختصات مرکز (-۱۳،۰،۱/۷) و (-۱۳،۰،-۱/۷)

و چگالی هر یک از اندام ها نیز مطابق جدول ۲ می باشد.

جدول ۲: مقدار چگالی اندام های شبیه سازی شده

تومور	لگن	بیضه	مثانه	پروستات	روده بزرگ	
۱/۰۶	۱	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۰۴	۱	چگالی (g/cm ³)

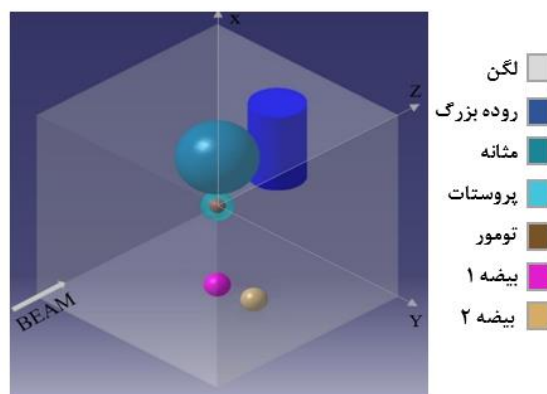
۲.۲ چشمه

فاصله مرکز تومور و پروستات تا سطح پوست ۱۵ سانتی متر و قطر پرتو تابشی پروتون ۲ میلی متر در نظر گرفته شده است، بنابر این لازم است انرژی ای برای این پرتو انتخاب شود که بیشینه دز دریافتی دقیقاً بر روی این فاصله قرار گیرد. انجمن ملی استاندارد ها و تکنولوژی آمریکا^۱ مقادیر عمق - دز

جابه جایی باعث به وجود آمدن تغییر در دز کلی جذب شده می شود [۳]. در این تحقیق دز کلی جذب شده در اندام های پروستات، مثانه، روده بزرگ و بیضه ها در موقعیت های مکانی متفاوت پروستات با استفاده از کد شبیه سازی FLUKA که بر اساس روش عددی مونت کارلو محاسبات را انجام می دهد، محاسبه شده است.

۲. روش انجام تحقیق

در این پژوهش با استفاده از کد شبیه سازی FLUKA در حالتی که پروستات و تومور مطابق شکل ۱ در مرکز مختصات و بدون جابجایی 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 میلی متر در راستای باریکه پروتون (محور Z) و به اندازه ۷ میلی متر در راستای عمود بر باریکه پروتون (محور X) حرکت داده شده است و دز کلی جذب شده به ازای این جابجایی ها در پروستات و دیگر اندام ها محاسبه شده است.



شکل ۱: حالتی که پروستات و تومور در مبدا مختصات قرار دارند.

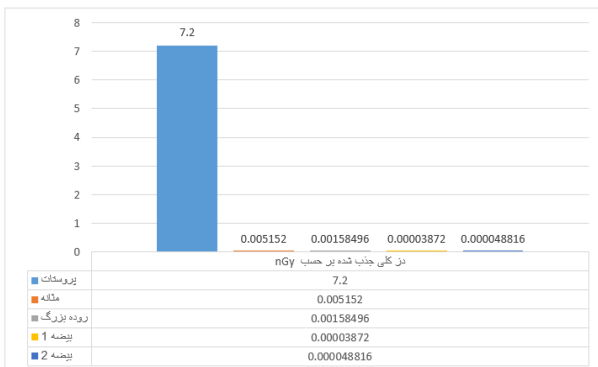
۱.۲ مشخصات فانتوم

مشخصات هندسی فانتوم مدل سازی شده، مطابق با جدول ۱ می باشد.

¹ NIST (National Institute of Standard and Technology)

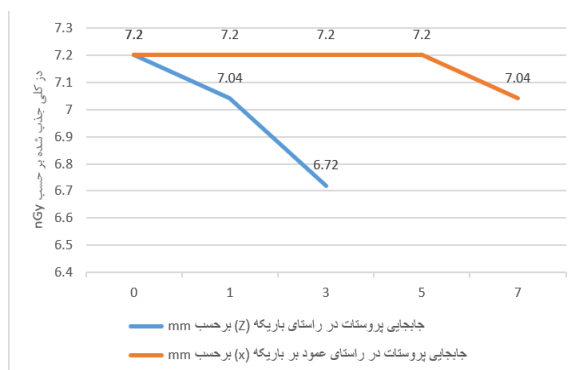


قله براگ می باشد که تمامی انرژی جذب شده در این ناحیه است. این خاصیت برتری و وجه تمایز روش پروتون درمانی با روش های دیگر پرتو درمانی می باشد.



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

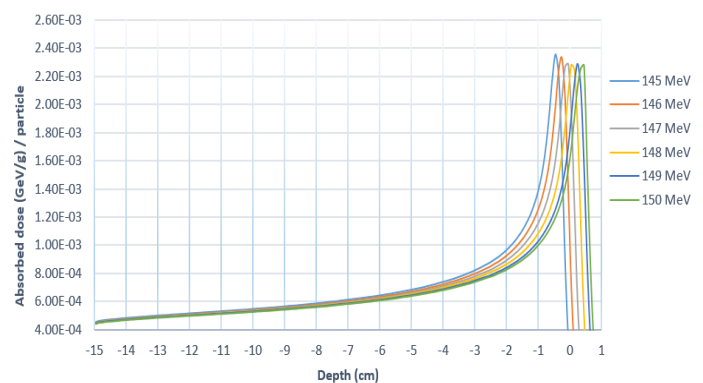
حال پروستات به اندازه ۷ میلی متر در راستای عمود بر باریکه و ۳ میلی متر در راستای باریکه جابجا می شود، میزان دز دریافتی مجموعه بافت پروستات و تومور در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: دز کلی جذب شده بافت پروستات و تومور بر حسب جابجایی

میزان تغییر دز کلی جذب شده پروستات در جابجایی عمود بر باریکه مقدار ۲/۲ درصد می باشد و میزان تغییر دز کلی جذب شده پروستات در جابجایی در راستای باریکه مقدار ۶/۶۶ درصد می باشد. می توان نتیجه گرفت، عدم قطعیت دز کلی جذب شده به ازای یک ذره پروتون زمانی که پروستات در

باریکه پروتون را برای انرژی های زیادی در مواد گوناگونی محاسبه نموده است [۴]. انرژی محاسبه شده توسط این انجمن برای عمق ۱۵/۲ سانتی متری مقدار ۱۴۸ مگا الکترون ولت می باشد. در شکل ۲ منحنی عمق - دز به ازای انرژی های مختلف باریکه ی پروتون فرودی رسم شده است، که داده های آن توسط کد شبیه سازی FLUKA و با توجه به فانتوم توضیح داده شده به دست آمده است. این نمودار نشان می دهد هر چه مقدار انرژی بیشتر شود، قله براگ در فاصله دورتری تشکیل می شود. مطابق با این شکل انرژی مورد نیاز پرتوی فرودی جهت تشکیل قله براگ در عمق ۱۵ سانتی متری مقدار ۱۴۸ مگا الکترون ولت می باشد. مقدار خطای عمق محاسبه شده به ازای انرژی ۱۴۸ مگا الکترون ولت با کد شبیه سازی FLUKA و انجمن ملی استاندارد ها و تکنولوژی آمریکا ۱/۳ در صد می باشد که این مقدار خطا قابل قبول می باشد.



شکل ۲: منحنی عمق - دز انرژی های مختلف باریکه ی پروتون

۳. نتیجه گیری

دز کلی جذب شده به ازای یک ذره پروتون در حالتی که پروستات در مرکز مختصات قرار دارد در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود ۹۹/۹۰ درصد دز کلی جذب شده به مجموعه بافت تومور و پروستات می رسد و به سایر بافت ها آسیبی وارد نمی کند. دلیل این اتفاق وجود



راستای باریکه حرکت می کند، نسبت به حالتی که پروستات در راستای عمود بر باریکه حرکت می کند بیشتر است، که این مهم به دلیل بسیار کوچکتر بودن قطر پرتو تابشی پروتون نسبت به قطر پروستات تحت درمان و همچنین تاثیر جابجایی پروستات و تومور در راستای باریکه بر محل قله براگ می باشد.

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 می باشد.



۴. 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 Journal of Physics Research. Vol. 20, No. 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 medical physics. Vol. 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. Vol. 171, (2021) 108772.
- [4] M. J. Berger, Penetration of Proton Beams Through Water I. Depth-dose Distribution, Spectra and LET Distribution, NIST publications, (1993) 19-30.



Absorbed dose uncertainty evaluation in proton therapy of prostate cancer by Monte Carlo method

H. Mirzaie¹, A. Karimian², M. H. Alamatsaz³

¹ Department of Physics, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

² Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran

³ Department of Physics, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

P. O. Box: 8174673441

Email: karimian@eng.ui.ac.ir

Abstract

Proton therapy is one of the prostate cancer treatments. Bragg peak in proton depth-dose curve is the most important characteristic of this method. It causes the most amount deposition of energy in the tumor. Prostate is not a fixed organ and has involuntary movement in the range of 1-7mm due to bloating of the gastrointestinal tract in body, so this movement results in uncertainty in absorbed dose of particle. In this research absorbed dose are calculated regarding prostate movement using FLUKA code which works with Monte Carlo method. First, the phantom used is simulated. Regarding depth of 15cm of prostate in body the needed energy to form Bragg peak in tumor was calculated 148 MeV with 0.02% precision. Total Absorbed dose for one proton particle is 7.2 nGy when prostate was considered fixed in coordinate center .it was shown that 99.9% of total absorbed dose which is deposited in prostate and does not damage other tissues. The reason for this is the presence of Bragg Peak, which is all the energy absorbed in this area. with moving prostate for 7mm in perpendicular proton beam direction, the total dose absorbed by the prostate is reduced by 2.2%, also for moving prostate in line with proton beam, the total dose absorbed by the prostate is reduced by 6.66% .

Keywords: Prostate cancer, Proton therapy, Uncertainty, Absorbed dose, FLUKA simulation code.