مقاله پژوهشی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۷، شمارهٔ ۲، بهار ۱۳۹۸، صفحه ۴۳-۴۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۰۳، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۱۳

# ارزیابی پاسخ یک فانتوم سر ساخته شده در مقایسه با فانتوم سر راندو در میدان یکسان گاما

**الهام باورنگین و محمدرضا کاردان***

پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران.

*تهران، سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته ای، کدپستی:۱۴۳۹۹۵۱۱۱۳

پست‌الکترونیکی:mkardan@aeoi.org.ir

## چکیده

فانتوم‌های معادل انسان، به طور گسترده‌ای در پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از فانتوم‌ها برای مقاصد دزیمتری، کالیبراسیون و کنترل کیفی دستگاه‌های پرتودرمانی استفاده می‌شود. با توجه به توسعه روز افزون تکنیک‌های پرتودرمانی و نیز گسترش علوم آن در درمان بیماران سرطانی و افزایش سطح کیفی درمان و همچنین با توجه به توسعه مراکز آموزشی و بخش‌های پرتودرمانی در سراسر کشور، استفاده از فانتوم‌های معادل انسان مورد نیاز می‌باشد. در طول سال‌ها فانتوم‌های متعددی در سراسر دنیا طراحی و ساخته شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به فانتوم راندو اشاره کرد. از آن‌جایی که تهیه فانتوم راندو پر هزینه می‌باشد، فانتوم مشابهی توسط شرکت تابش‌پرداز پگاه طراحی و ساخته شده است. به منظورمقایسه فانتوم ساخته شده با فانتوم راندو، هر دو فانتوم در میدان یکسان گاما پرتودهی شدند. نتایج نشان می‌دهد که میانگین درصد اختلاف نسبی دز گاما در فانتوم ساخته شده نسبت به فانتوم راندو، تقریبا ۲۱٪ می‌باشد که با اعمال اصلاحاتی در فانتوم ساخته شده، نتایج دز گاما همخوانی بیشتری با فانتوم راندو خواهد داشت.

**کلیدواژگان:** فانتوم راندو، فانتوم ساخت داخل کشور، TLD، دز گاما، چشمه کبالت-۶۰.

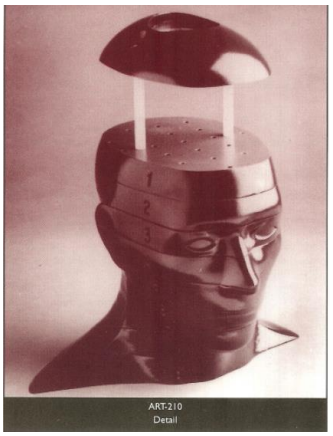
## ۱. مقدمه

در انواع پرتودرمانی از فانتوم‌های معادل انسان برای مقاصد دزیمتری، کالیبراسیون و کنترل کیفی دستگاه‌های پرتودرمانی استفاده می‌شود [۱،۲]. به‌همین منظور تهیه و ساخت فانتوم مناسب، حائز اهمیت می‌باشد. از جمله فانتوم‌هایی که برای مقاصد دزیمتری تهیه می‌شود، فانتوم راندو می‌باشد. فانتوم راندو نوعی فانتوم انسان‌نما است که در دو نوع مرد و زن ساخته شده است [۳]. این فانتوم دارای ۳۳ برش است که هر کدام به ضخامت ۲/۵ cm می‌باشد و در هر برش حفره‌هایی وجود دارد که می‌توان در آن TLD جاسازی نمود. فانتوم با یک اسکلت طبیعی از انسان که درون آن با مواد مشابه بافت پر شده، طراحی شده است.

در فانتوم از سه نوع بافت استخوانی، بافت نرم و بافت معادل ریه استفاده شده است. بافت نرم این فانتوم دارای عدد اتمی موثر و دانسیته مشابه با بافت عضلانی می‌باشد. عدد

اتمی مؤثر آن ۷/۳ و دانسیته آن معادل ۰/۹۸۵ $g/cm^3$ است. نماهایی از فانتوم راندو زن و مرد در شکل ۱ دیده می‌شود. نمایی از قسمت سر فانتوم راندو و نیز محل قرارگیری TLDها نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.

**شکل (۱): نماهایی از فانتوم راندو زن و مرد [۱].**



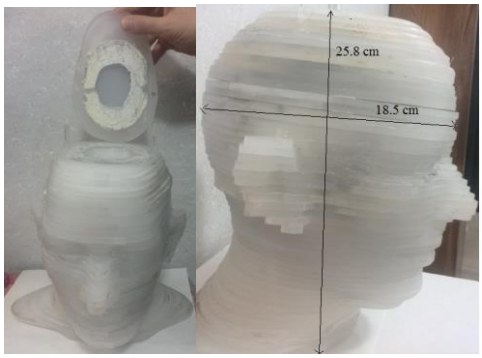

**شکل (۲): نمایی از قسمت سر فانتوم راندو و محل قرارگیری TLDها در آن.**

از آن‌جایی که تهیه فانتوم راندو پرهزینه می‌باشد، لذا ساخت و تهیه فانتوم‌های مشابه برای مقاصد دزیمتری در داخل کشور دارای اهمیت می‌باشد. شرکت تابش‌پرداز پگاه یک فانتوم سر مشابه فانتوم راندو ساخته است. در این پژوهش به‌منظور میزان همخوانی فانتوم سر ساخته شده توسط شرکت تابش‌پرداز پگاه و قسمت سر فانتوم راندو، هر دو فانتوم در میدان یکسان گاما پرتودهی شدند و پاسخ هر دو فانتوم مورد ارزیابی قرار گرفت.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱،۲. مشخصات فانتوم سر ساخته‌شده توسط شرکت تابش‌پرداز پگاه

یک فانتوم سر توسط شرکت تابش‌پرداز پگاه ساخته شده است. در ساخت این فانتوم، به‌منظور استاندارد بودن طرح و پرهیز از هرگونه وابستگی طراحی و ساخت به آناتومی یک فرد مشخص، فانتوم راندوی مرد که یک فانتوم مرجع و میانگینی از مرد بالغ است، در نظر گرفته شد. از این فانتوم به وسیله سی‌تی‌اسکن تصاویر کاملی گرفته شد و این تصاویر در برش‌هایی با پهنای ۱/۵ cm به دستگاه‌های سی‌ان‌سی سه‌بعدی داده شد و مقاطع فانتوم از ورق‌های پی‌وی‌سی تولید شد. با این روش از هر مقطع از سر، مرزهای بیرونی دقیقاً تراش داده شده و بخش استخوان در درون با دقت فراوان خالی شد سپس با کمک ابزارهای دستی به وسیله کارشناس پرتوپزشکی آشنا به آناتومی و اصول کار، ریزه کاری‌ها در کارگاه روی هر برش نهایی گردید. در هر برش تعدادی حفره کوچک برای قرار دادن دزیمترها ی کوچک تعبیه شد. بخش‌های استخوانی این فانتوم با ترکیب شیمیایی معادل استخوان از نظر عدد اتمی و چگالی پر شده و هر برش با دقت پولیش گردید سپس به کمک دو میله پی‌وی‌سی تراش داده شده با سی‌ان‌سی همه برش‌ها روی هم قرار داده شدند. تصاویری از فانتوم ساخته شده در شکل ۳ ملاحظه می‌شود.




**شکل (۳): نماهایی از فانتوم ساخته شده توسط شرکت تابش‌پرداز پگاه [۲].**

### ۲,۲. جاگذاری TLDها و پرتودهی فانتوم‌ها

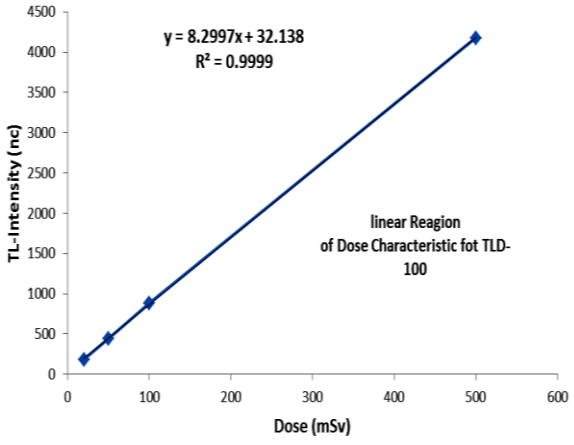
فانتوم ساخته‌شده و فانتوم راندو هر دو در میدان یکسان گامای چشمه کبالت-۶۰ در SSDL کرج پرتودهی شدند (شکل ٤).

**شکل(۴): نمایی از پرتودهی هر دو فانتوم در میدان یکسان گامای چشمه کبالت-۶۰.**

برای انجام دزیمتری از تراشه‌های TLD-100 ساخت شرکت (Harshaw, USA) استفاده شد که با یک دستگاه قرائت‌گر TLD مدل ٤٥٠٠ خوانده شد. به‌منظور حذف هر نوع انرژی ذخیره شده قبلی در دزیمترها که ممکن است ضمن حمل و نقل، تابش نور و یا موارد دیگر در دزیمتر ذخیره شده باشد، قبل از هرگونه پرتودهی دزیمترها ابتدا به مدت یک ساعت در دمای ٤۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و پس از این که به دمای محیط رسیدند مجدداً به مدت دو ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی دستگاه حرارت داده شدند. برای تابش‌دهی ۱۰۰ عدد TLD، درون کیسه‌های نایلونی قرار داده شدند و پس از علامت گذاری در محل مورد نظر در درون فانتوم قرار گرفتند. ۵۰ عدد TLD در درون فانتوم راندو و ۵۰ عدد نیز در نقاط مشابه در فانتوم ساخته شده، قرار گرفتند.

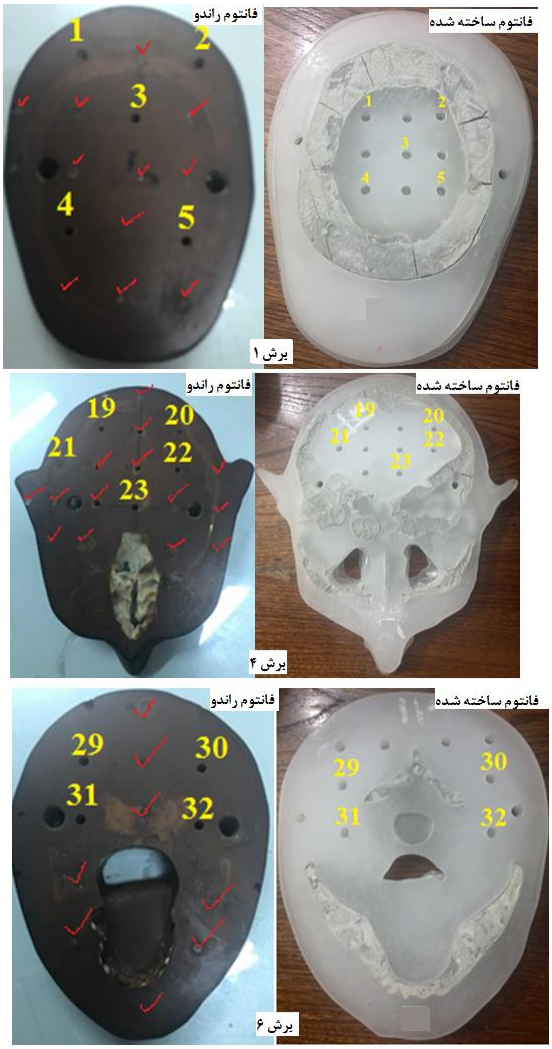
## ۳. نتایج

کالیبراسیون تراشه‌های TLD در SSDL کرج و با چشمه کبالت-۶۰ صورت گرفت. همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، در محدوده دزهای تابشی، پاسخ TLDها خطی می‌باشد.




**شکل (۵): منحنی پاسخ دز TLDها**

در شکل ٦ برخی از برش‌های هر دو فانتوم ملاحظه می‌شود. همان‌طور که دیده می‌شود، محل قرارگیری TLDها در این برش‌ها با اعداد مشخص شده‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود، در فانتوم راندو جاهای متعددی برای قراردادن TLD تعبیه شده است ( علامت‌های قرمز در شکل ٦ این نقاط را نشان می‌دهند.) نتایج قرائتِ دز در برش‌های نشان داده شده در شکل ٦ در جداول ۱ تا ۳ نشان داده شده‌اند. شکل ۷ مقایسه کلی از نتایج دزها در هر دو فانتوم را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۷ ملاحظه می‌گردد، نتایج دز در برخی نقاط از دو فانتوم، به یکدیگر نزدیک می‌باشند و در برخی نقاط این اختلاف قابل‌توجه است. نمای کلی از این اختلاف دز در شکل ۸ نشان داده شده است.




**شکل (۶): نمایی از برش‌های مختلف هر دو فانتوم و جایگاه‌های TLDها در آن‌ها.**

**جدول (۱): مقادیر دز گاما برای برش اول.**

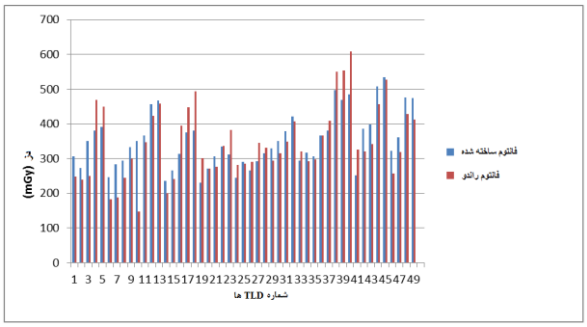
| دز (mGy) | | | |
|---|---|---|---|
| درصد اختلاف نسبی | راندو | فانتوم ساخته شده | شماره TLDها |
| ۲۳/۲۸ | ۲٤۸/۱۲ | ۳٥۰/۹۰ | ۱ |
| ۱٤/۲۷ | ۲۳۸/٥۷ | ۲۷۲/٦۱ | ۲ |
| ٤۰/٤٦ | ۲٤۹/۹۸ | ۳٥۱/۱۳ | ۳ |
| ۱۸/۹٥ | ٤٦۹/٤۳ | ۳۸۰/٤٦ | ٤ |
| ۱۲/٦۹ | ٤٤۸/۸۳ | ۳۹۱/۸٤ | ٥ |

**جدول (۲): مقادیر دز گاما برای برش چهارم.**

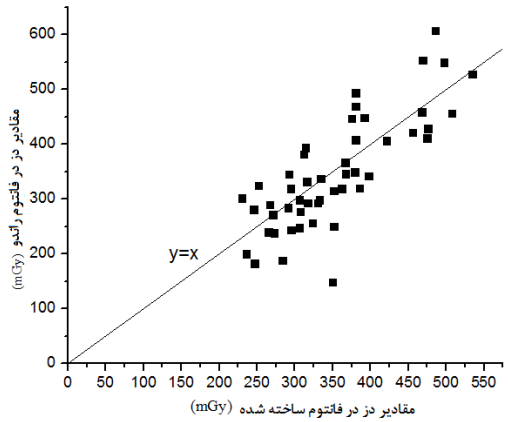
| دز (mGy) | | | |
|---|---|---|---|
| درصد اختلاف نسبی | راندو | فانتوم ساخته شده | شماره TLDها |
| ۲۳/۸ | ۳۰۱/۸٥ | ۲۲۹/۸۰ | ۱۹ |
| ۰/۲٥ | ۲۷۱/۷٥ | ۲۷۱/۰٥ | ۲۰ |
| ۱۰/۸۹ | ۲۷۷/۱٥ | ۳۰۷/۳٤ | ۲۱ |
| ۰/۹۳ | ۳۳۷/۲٦ | ۳۳٤/۱۰ | ۲۲ |
| ۱۸/٤٤ | ۳۸۲/۰۷ | ۳۱۱/٦۰ | ۲۳ |

**جدول (۳): مقادیر دز گاما برای برش ششم.**

| دز (mGy) | | | |
|---|---|---|---|
| درصد اختلاف نسبی | راندو | فانتوم ساخته شده | شماره TLDها |
| ۱۲/٥ | ۲۹۳/٤۸ | ۳۳۰/۱۹ | **۲۹** |
| ۱۱/٤۱ | ۳۱٥/۱٥ | ۳٥۱/۱۳ | **۳۰** |
| ۸/٥ | ۳٤۹/۲٤ | ۳۷۹/۲٦ | **۳۱** |
| ۳/٦ | ٤۰٦/٥۸ | ٤۲۱/٤۲ | **۳۲** |

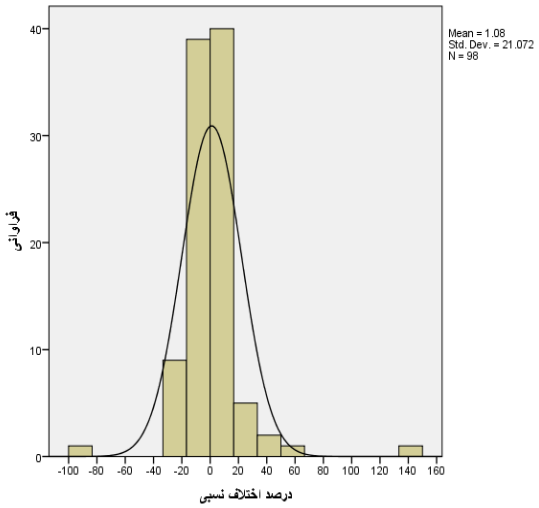



**شکل (۷): مقایسه نتایج دزها در دو فانتوم.**




**شکل (۸): نمای کلی از اختلاف دز در دو فانتوم.**

هر چقدر که اعداد دز به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، نقاط بر روی خط y=x واقع می‌شوند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تراکم نقاط در نزدیکی خط، بالا می‌باشد که این امر نشان‌دهنده اختلاف کم دز نقاط مختلف در دو فانتوم می‌باشد. البته در چندین نقطه اختلاف دز بالایی ملاحظه می‌شود. علت وجود اختلاف در نتایج می‌تواند به عوامل متعددی بستگی داشته باشد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به یکسان نبودن حفره‌های مربوط به قرارگیری TLDها در دو فانتوم اشاره نمود. برخی از حفره‌های تعبیه شده در فانتوم ساخته‌شده با حفره‌های فانتوم راندو همخوانی نداشتند. به همین دلیل TLDها در حفره‌ای که تقریباً مشابه آن در فانتوم راندو وجود داشت، جاگذاری شدند. علاوه بر این مسأله، خطای مربوط به کالیبراسیون TLDها و خطای مربوط به تنظیم فاصله چشمه تا فانتوم‌ها نیز به افزایش اختلاف نسبی دز قرائت شده‌ی دو فانتوم اضافه می‌گردد. در ضمن، در ساخت این فانتوم، از برش‌های زیادتری نسبت به فانتوم راندو استفاده شده است، این امر منجر به ایجاد شکاف‌های بیشتر و افزایش دز در برخی از نقاط فانتوم ساخته شده می‌شود که این مسأله در شکل ۸ نیز مشهود می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود، تعداد نقاط زیر خط y=x بیشتر از نقاط موجود در بالای خط می‌باشند.




**شکل (۹): فراوانی درصد اختلاف نسبی فانتوم ساخته شده و فانتوم راندو.**

در شکل ۹ نیز درصد اختلاف نسبی فانتوم ساخته شده و فانتوم راندو ملاحظه می‌گردد. همان‌طور که دیده می‌شود، میانگین اختلاف نسبی دز در دو فانتوم، ۲۱٪ می‌باشد.

## ۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، فانتوم سر ساخته شده توسط شرکت تابش‌پرداز پگاه و فانتوم سر راندو در میدان‌های یکسان گامای مربوط به چشمه کبالت-۶۰ پرتودهی شدند. مقایسه‌ای بین این دو فانتوم صورت گرفت. همان‌طور که از نتایج مشاهده می‌شود، میانگین درصد خطای نسبی دز گاما در فانتوم ساخته شده نسبت به فانتوم راندو، تقریبا ۲۱٪ می‌باشد. علت وجود اختلاف در نتایج می‌تواند به عوامل متعددی بستگی داشته باشد که از مهم‌ترین آن‌ها یکسان نبودن برخی حفره‌های مربوط به قرارگیری TLDها در دو فانتوم می‌باشد.

از جمله عوامل دیگر در به‌وجود آمدن این اختلاف دز، تعداد برش‌های بیشتر در فانتوم ساخته شده می‌باشد که این امر منجر به ایجاد دز بیشتر در فانتوم ساخته شده نسبت به فانتوم راندو می‌شود.

علاوه بر این مسأله، خطای مربوط به کالیبراسیون TLDها و خطای مربوط به تنظیم فاصله چشمه تا فانتوم‌ها نیز اضافه می‌گردد. با اعمال اصلاحاتی در فانتوم ساخته شده، نتایج دز گاما در این فانتوم همخوانی بیشتری با نتایج دز گاما در فانتوم راندو خواهند داشت.

## ۵. قدردانی

نویسندگان مقاله از مساعدت‌های جناب آقای دکتر اربابی در SSDL کرج، سرکار خانم وهابی در پژوهشکده کاربرد پرتوها و نیز جناب آقای مهندس انفرادی در بخش حفاظت در برابر اشعه کمال تشکر را دارند.

## ۶. مراجع

[1] J.F. Winslow, D.E. Hyer, R.F.Fisher, C.J. Tien, D.E. Hintenlang. Construction of anthropomorphic phantoms for use in dosimetry studies. Journal of applied clinical medical physics. 10 (2009) 195–204.
[2] M.G. Stabin, M.A. Emmons, W.P. Segars. M.J. Fernald. Realistic reference adult and paediatric phantom series for internal and external dosimetry. Radiation protection dosimetry. 149 (2011) 56–59.
[3] M. Hörnlund, C. Bernhardsson. Organ doses determined using a RANDO phantom for different radionuclide depositions and photon energies. In Medical physics in the Baltic States. (2013) 103–105.