

## طراحی و ساخت فانتوم سه بعدی آبی جهت اندازه گیری پارامترهای دزیمتری میدانهای

### تابشی ایکسی و گاما در پزشکی

سجاد بیات<sup>۱</sup> - مجتبی شمسایی ظفرقندی<sup>۱</sup> - محمدرضا قاسمی<sup>۲</sup> - ارژنگ شاهور<sup>۲</sup> - سیدمیلاد وهابی<sup>۱</sup>

(۱) دانشگاه امیرکبیر، دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک، گروه مهندسی هسته‌ای

(۲) سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی

#### چکیده:

اندازه‌گیری مستقیم دز درون بدن بیمار جهت یک طراحی درمان دقیق اساساً امکانپذیر نیست. در اینجاست که نقش فانتوم‌های با مواد معادل بافت نمایان می‌گردد. در این مقاله به چگونگی طراحی و ساخت اولین نمونه ایرانی فانتوم آبی سه بعدی در پژوهشکده کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج پرداخته شده است. آزمایشات انجام شده نشان از مناسب بودن این فانتوم جهت دزیمتری می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** فانتوم سه بعدی، اتاقک یونساز، دزیمتری تابش، پارامترهای دزیمتری، درصد دز عمقی، توزیع‌های همادز

#### مقدمه:

دزیمتری تابش در پرتودرمانی به لحاظ تحویل یک دز تابشی دقیق به تومور و کاهش آسیب‌های بیولوژیکی به بافت‌های سالم اطراف آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. اندازه‌گیری مستقیم این توزیع دز در حین پرتودرمانی از لحاظ عملی غیرممکن به نظر می‌رسد. بدین ترتیب به دستگامی نیاز است که بتواند نقش بدن بیمار را بازی کند. داده‌های مربوط به توزیع دز و همچنین اندازه‌گیری‌های درصد دز عمقی در فانتوم‌های معادل بافت بدن انسان بدست می‌آیند [۱].

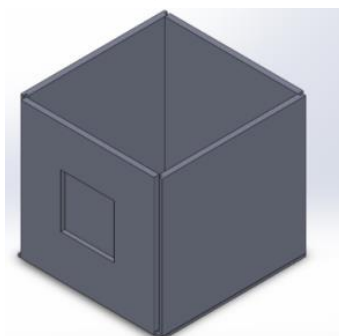
به مرور زمان فانتوم‌های مختلف با کاربردهای مختلفی ساخته شدند. یکی از فانتوم‌های شناخته شده علاوه بر فانتوم‌های همگن، فانتوم راندو<sup>۱</sup> است که در بردارنده مواد شبیه‌سازی شده بافت‌های متفاوت بدن انسان است [۲]. وایت و همکارانش در سال ۱۹۷۷ دستورالعمل‌هایی برای جایگزین کردن بافت ارائه کردند بطوریکه پرکننده‌هایی خاص به رزین‌های اپوکسی برای شکل دادن به یک ترکیب با خصوصیات تابشی تقریباً نزدیک به یک بافت ویژه اضافه کردند. جداول همراه با جزئیات کامل در مورد جایگزین‌های بافت در قالب گزارشی توسط ICRU منتشر شده است [۳] و [۴]. در سال ۱۹۸۲ کنستانتینو و همکارانش به جای آب از آب جامد به عنوان جایگزین بر پایه رزین اپوکسی استفاده نمودند [۵]. در حال حاضر شرکت‌های IBA و PTW Freiburg آلمان گستره وسیعی از فانتوم‌های جامد و آب را جهت دزیمتری باریکه‌های الکترونی و فوتونی بر اساس پروتکل‌های بین‌المللی ارائه می‌کنند. از جمله فانتوم‌هایی که این شرکت‌ها مبادرت به ساخت آن‌ها

<sup>۱</sup> Alderson Rando

نموده‌اند می‌توان به فانتوم آبی<sup>۱</sup> اشاره نمود. با توجه به قابلیت های عمده فانتوم سه بعدی از جمله محاسبه و بررسی وابستگی درصد دز عمقی<sup>۲</sup> (PPD) به اندازه ی میدان، عمق مورد نظر، فاصله چشمه تا سطح<sup>۳</sup> (SSD) و انرژی باریکه، محاسبه فاکتور نسبت بافت-هوا<sup>۴</sup> (TAR)، بدست آوردن منحنی های همدمز و اندازه گیری دز در سه بعد در مراکز بالینی در حین پرتودرمانی با تابش های فوتونی و الکترونی لزوم ساخت این نوع فانتوم احساس می‌شود.

### روش کار :

فانتوم بایستی از جنس ماده ای باشد که خاصیت جذب و پراکندگی فوتونی آن مشابه بافت بدن انسان باشد. بدنه فانتوم از جنس پلکسی گلاس انتخاب شد. از جمله اجزای اصلی فانتوم سه بعدی می‌توان به سه عدد موتور پله‌ای<sup>۵</sup>، قطعات آلومینیومی، تسمه و پولی تایمینگ، میله‌های استیل و برد کنترلر موتور پله‌ای اشاره کرد. در ابتدا ورق های پلکسی گلاس با ضخامت ۲۰ mm جهت ساختن بدنه فانتوم انتخاب شد. در یکی از وجه های بدنه یک پنجره به ضخامت ۵ mm و ابعاد ۲۰ mm × ۲۰ mm در مرکز جهت ورودی عرضی باریکه و کمتر شدن تضعیف آن تعبیه شد. بدنه طراحی شده فانتوم در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل شماره ۱ بدنه فانتوم ساخته شده

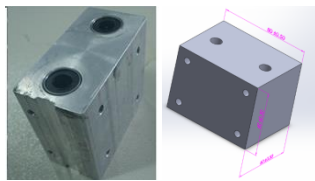
در مرحله بعد ساخت قطعات آلومینیومی انجام شد. ۴ قطعه جهت نگهداشتن میله استیل بر روی وجه بالایی (شکل شماره ۲)، ۲ قطعه جهت تنظیم حرکت در راستای محور Y و ارتباط این حرکت با بقیه حرکت های سیستم فانتوم (شکل شماره ۳)، ۲ قطعه جهت حرکت سیستم در راستای محور Z (شکل شماره ۴)، ۱ قطعه به عنوان جایگاه آشکارساز و کنترلگر حرکت در راستای محور X (شکل شماره ۵) و دو قطعه به عنوان تهندهای سیستم فانتوم (شکل شماره ۶) طراحی و ساخته شدند. طرز انتخاب جهت حرکتی سیستم و طرح اولیه تنظیم حرکت سیستم در راستای محور Y به ترتیب در شکل شماره ۷ و شکل شماره ۸ نشان داده شده است. طرح نهایی فانتوم در شکل شماره ۹ نشان داده شده است.

<sup>۱</sup>Blue phantom  
<sup>۲</sup>Percentage Depth Dose  
<sup>۳</sup>Source-Surface Distance  
<sup>۴</sup>Tissue - Air Ratio  
<sup>۵</sup>Stepping motor

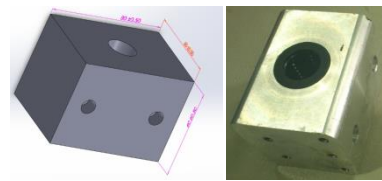


شکل شماره ۲. قطعات ساخته شده بر روی وجه بالایی فانتوم  
 راستای محور Y

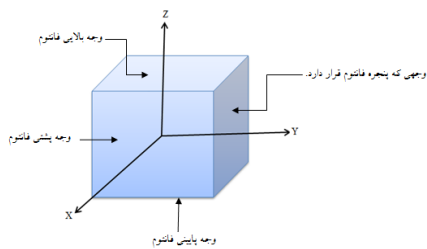
شکل شماره ۳. قطعات ساخته شده جهت تنظیم حرکت در  
 راستای محور X



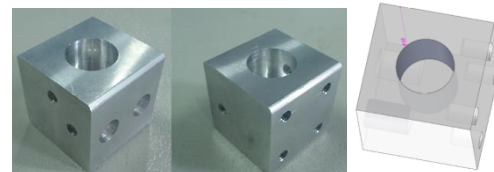
شکل شماره ۴. قطعات ساخته شده جهت تنظیم حرکت در  
 راستای محور Z



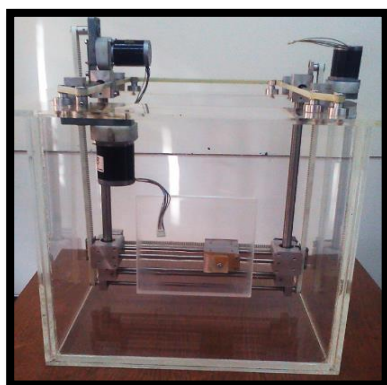
شکل شماره ۵. قطعات ساخته شده جهت تنظیم حرکت در  
 راستای محور X



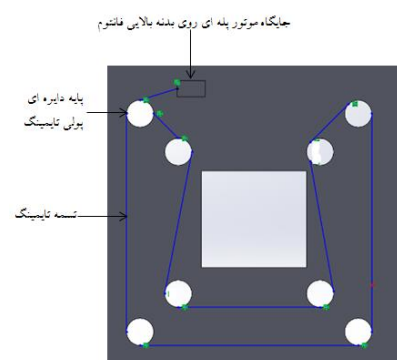
شکل شماره ۶. ته بندهای فانتوم



شکل شماره ۷. جهت حرکتی سیستم فانتوم



شکل شماره ۸. طرح اولیه تنظیم حرکت سیستم در راستای  
 محور Y



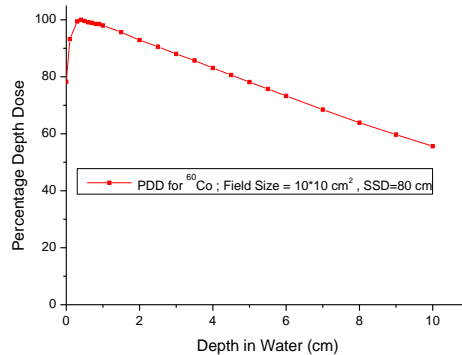
شکل شماره ۹. فانتوم سه بعدی ساخته شده

فانتوم ساخته شده دارای ابعاد  $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$  با قابلیت اسکن در سه بعد و ماکزیمم حجم آب ۱۲۵ لیتر می باشد. در انجام آزمایشات از یک الکترومتر PTW-UNIDOS، اتاقک های یونساز از نوع فارمر و Roos Chamber، فیلم رادیوکرومیک مدل Gaf ۵۵ و چشمه کبالت-۶۰ استفاده شده است.

## نتایج :

بعد از ساخت فانتوم و تنظیم موتورها و تسمه تایمینگ، اتاقک تا ارتفاع ۴۰ cm از آب مقطر پر شد و در مقابل چشمه کبالت-۶۰ در شرایط گوناگون قرار داده شد. نتایج زیر حاصل شدند:

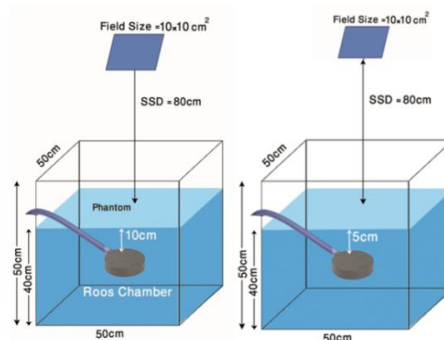
(۱) توزیع دز عمقی محور مرکزی کبالت-۶۰ در میدان  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  در  $SSD=80\text{ cm}$ : در این آزمایش از اتاقک فارمر با حجم حساس  $0.6\text{ cm}^3$  استفاده شد. نتیجه این آزمایش در قالب منحنی توزیع دز عمقی بر حسب عمق در آب در شکل شماره ۱۰ نشان داده شده است.



شکل شماره ۱۰. منحنی توزیع دز عمقی برای کبالت ۶۰ بر حسب عمق در آب

(۲) بررسی وابستگی درصد دز عمقی به اندازه میدان، عمق و فاصله چشمه تا سطح (SSD): در این آزمایش از اتاقک Roos استفاده شد. درصد دز عمقی برای تابش کبالت-۶۰ در عمق‌های مختلف ۵ cm و ۱۰ cm در فانتوم به ترتیب در فواصل ۸۰ cm و ۱۰۰ cm از سطح آب برای میدان‌های مختلف بدست آورده شد و نتایج آن در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. شکل شماره ۱۱ نشان‌دهنده روند آزمایش است.

(۳) محاسبه نسبت بافت-هوا: این کمیت به صورت نسبت دز در یک نقطه معین از فانتوم به دز در فضای آزاد در همان نقطه تعریف می‌شود. نسبت بافت-هوا با افزایش اندازه میدان افزایش می‌یابد. نتایج در جدول شماره ۲ نشان داده شده‌اند.



شکل شماره ۱۱. نمایش شماتیک محاسبه درصد دز عمقی:  $SSD=80\text{ cm}$  و  $Depth=10\text{ cm}$  و  $Depth=5\text{ cm}$

جدول شماره ۱. درصد دز عمقی برای کبالت ۶۰ در عمق ۵ cm و ۱۰ cm زیر آب برای فاصله چشمه تا سطح ۸۰ و

۱۰۰ سانتیمتر

۵×۵		۱۰×۱۰		۱۵×۱۵		۲۰×۲۰		اندازه میدان (cm <sup>2</sup> )	
۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	SSD (cm)	عمق (cm)
۷۵/۴	۷۸/۰	۷۸/۷	۸۱/۲	۸۰/۳	۸۲/۵	۸۱/۳	۸۳/۱	درصد دز عمقی بدست آمده	۵ cm
۷۵/۲	۷۶/۶	۷۸/۵	۸۰/۴	۸۰/۱	۸۲/۰	۸۰/۸	۸۳/۰	درصد دز عمقی مرجع	
۰/۲۷	۱/۸۰	۰/۲۵	۰/۹۹	۰/۲۵	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۱۲	درصد خطا(%)	
۵۰/۹	۵۴/۴	۵۶/۲	۵۹/۸	۵۸/۷	۶۲/۵	۶۰/۷	۶۳/۷	درصد دز عمقی بدست آمده	۱۰ cm
۵۱/۲	۵۳/۳	۵۵/۶	۵۸/۷	۵۸/۴	۶۱/۶	۶۰/۲	۶۳/۳	درصد دز عمقی مرجع	
۰/۵۹	۲/۰۰	۱/۱۰	۱/۹۰	۰/۵۱	۱/۵۰	۰/۸۳	۰/۶۳	درصد خطا(%)	

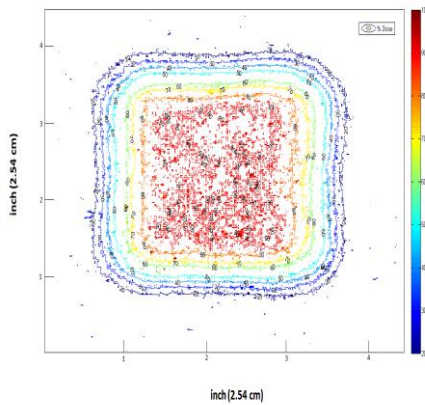
جدول شماره ۲. نسبت های بافت- هوا برای کبالت ۶۰ در عمق ۵ cm آب برای میدان های مختلف در SSD= ۸۰ cm

۵×۵	۱۰×۱۰	۱۵×۱۵	۲۰×۲۰	اندازه میدان (cm <sup>2</sup> )	عمق (cm)
۰/۸۳۲	۰/۸۹۵	۰/۹۲۷	۰/۹۴۷	نسبت بافت به هوا بدست آمده	۵
۰/۸۴۷	۰/۹۰۵	۰/۹۳۶	۰/۹۵۷	نسبت بافت به هوا مرجع	
۱/۸۰	۱/۱۰	۰/۹۶	۱/۰۰	درصد خطا(%)	

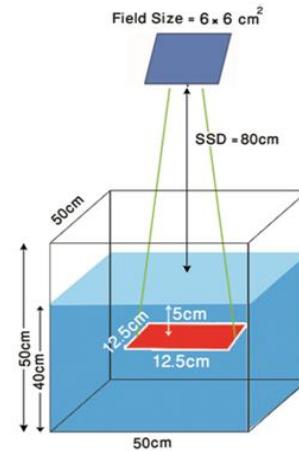
۴) منحنی های همدمز: شامل نقاطی است که دارای دز یکسانی هستند. در این آزمایش از فیلم رادیوکرومیک Gaf مدل M-۵۵ با اندازه  $۱۲/۵ \times ۱۲/۵ \text{ cm}^2$  استفاده شده است. نحوه انجام آزمایش در شکل شماره ۱۲ نشان داده شده است. فیلم بصورت افقی در فانتوم قرار می گیرد. منحنی های همدمز در شکل شماره ۱۳ نشان داده شده است.

### بحث و نتیجه گیری :

با توجه به افزایش روزافزون شتاب دهنده های خطی و ماشین های کبالت در رادیوتراپی و پیش بینی تعیین دز بیمار و محاسبه پارامترهای دزیمتری لزوم ساخت و طراحی فانتوم سه بعدی آب حس می شود. با توجه به نتایج بدست آمده می توان نتیجه گرفت که کارایی فانتوم برای محاسبه پارامترهای دزیمتری چشمه های گاما و بتا از حد قابل قبولی برخوردار بوده است. تمام نتایج بدست آمده بگونه ای بوده است که در بدترین حالت



شکل شماره ۱۳. منحنی های همدمز در صفحه ای عمود بر محور مرکزی باریکه برای  $\text{Field Size} = 6 \times 6 \text{ cm}^2$  و  $\text{SSD} = 80 \text{ cm}$



شکل شماره ۱۲. فانتوم در حین آزمایش اندازه‌گیری پروفایل دز برای حالت  $\text{Field Size} = 5 \times 5 \text{ cm}^2$   $\text{Depth} = 10 \text{ cm}$  و  $\text{SSD} = 80 \text{ cm}$

ممکن حدوداً ۲ درصد خطا با مقدار استاندارد داراست. علیرغم امکانات محدود، نتایج امیدبخشی در این زمینه حاصل شد و همین امر کارآمد بودن روش‌های مختلف و مورد استفاده در مسیر ساخت فانتوم سه بعدی را نشان می‌دهد. بنابراین بهتر است کار انجام شده را به عنوان زمینه‌ساز و شروعی هر چند کوچک به سمت تحقیقات بیشتر و بومی‌سازی این نوع فانتوم در نظر گرفت.

مراجع :

- [۱] H.E. Johns and J.R. Cunningham "The Physics of Radiology" 4th ed. ۱۹۸۳
- [۲] [http://www.rsdphantoms.com/rt\\_art.htm](http://www.rsdphantoms.com/rt_art.htm)
- [۳] D. R. White, R.J. Martin, R. Darlison "Epoxy Resin Based Tissue Substitutes" BrJRadiol. ۵۰:۸۱۴، ۱۹۷۷
- [۴] International Commission on Radiation Units and Measurements. "Tissue Substitutes in Radiation Dosimetry and Measurement". Report No. ۴۴. Bethesda, MD: International Commission on Radiation Units and Measurements, ۱۹۸۹
- [۵] C. Constantinou, F. H. Attix, B.R. Paliwal "A Solid Phantom Material for Radiation Therapy x-ray and y -ray Beam Calibrations". Med Phys ۹:۴۳۶, ۱۹۸۲