



## مطالعه ی میزان دز دریافتی دانشجویان در آزمایشگاه فیزیک هسته ای

فرزین، کاظم\*<sup>(۱)</sup> - جهانبخش، احتای<sup>(۱)</sup> - اخلاقی، پریسا<sup>(۲)</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه تبریز، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

<sup>۲</sup> دانشگاه علوم پزشکی تبریز، دانشکده پزشکی، گروه فیزیک پزشکی

### چکیده:

پرتوهای یونیزان، اثرات مخربی بر بافت‌های بدن دارند، به همین دلیل بررسی شدت و میزان انرژی انباشته شده در بافت‌های مختلف بدن اهمیت فراوانی دارد. شبیه سازی مونت کارلو دقیق‌ترین روش محاسباتی دزیمتری می‌باشد که با استفاده از آن، می‌توان پارامتر دز جذبی توسط اندام‌های مختلف بدن را محاسبه کرد. شبیه سازی با استفاده از فانتوم MIRD و چشمه‌های نقطه‌ای همسانگرد کبالت ۶۰ با انرژی‌های ۱۱۷۳ و ۱۳۳۲ کیلو الکترون ولت، سزیم ۱۳۷ با انرژی ۶۶۲ کیلو الکترون ولت و استرانسیوم ۹۰ با انرژی ۵۴۶ کیلو الکترون ولت در کد GEANT4، انجام شد. با توجه به مقادیر حاصل از شبیه سازی میزان دز جذبی و دز مؤثر سالانه کمتر از استانداردهای ملی و بین‌المللی برآورد شده است.

کلمات کلیدی: دزیمتری، پرتوهای یونیزان، دز جذبی، مونت کارلو، فانتوم، GEANT4

### مقدمه:

یکی از اساسی‌ترین ویژگی آزمایشگاه‌های هسته‌ای که باید مورد توجه قرار بگیرد، ایمنی پرتوها و ملاحظات مربوط به فیزیک بهداشت است. با توجه به اینکه آزمایشگاه هسته‌ای یکی از دروسی است که دانشجویان فیزیک باید آن را بگذرانند و در این آزمایشگاه با چشمه‌های متفاوتی سروکار دارند ناخواسته تحت تاثیر تابش قرار می‌گیرند. هدف اصلی این پژوهش تعیین میزان دز جذبی و دز مؤثر در آزمایشگاه توسط افراد آزمایشگر می‌باشد. بررسی خطرات احتمالی ناشی از تشعشعات یونیزان و تخمین آسیب رسیده از پرتو به بدن موجود زنده برای کسانی که به دلیل موقعیت شغلی خود به صورت مستمر در معرض تشعشع ناشی از تابش‌های هسته‌ای هستند، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. به دلیل خطرات فراوان در علم هسته‌ای و مطالعه در زمینه خطرپذیری و آسیب زیستی بدن در مقابل پرتوها، امکان آزمایش‌های تجربی بر روی نمونه انسان وجود ندارد. با پیشرفت تکنولوژی و ارائه‌ی نرم افزارهای نوین، استفاده از شبیه‌سازی بدن انسان، افزایش یافته است. یکی از روش‌های انجام محاسبات دز سنجی، استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو می‌باشد. توانایی مدل سازی پیشرفته هندسه و قابلیت انعطاف پذیری برای توصیف مواد، کد Geant4 را به ابزاری قدرتمند برای نمایش



مدلی سه بعدی از بدن انسان تبدیل کرده است و با توجه به این که فانتوم انسانی موجود در کد Geant4 شبیه به حالت واقعی طراحی شده است، بنابراین نتایج بدست آمده در محاسبات دز سنجی از اعتبار بیشتری برخوردار خواهد بود [۱]. دز جذبی در یک نقطه از ماده، به صورت مقدار انرژی جذب شده در واحد جرم آن ماده تعریف و بیان می‌شود [۲]. برای محاسبه دز معادل ( $H_t$ )، بایستی مقدار دز در یک ضریب کیفیت که به نوع پرتو تابش وابسته است ضرب شود. در این تحقیق، که تابشها از نوع گاما و بتا می‌باشند؛ ضریب کیفیت برابر با مقدار یک است که در این صورت مقدار دز جذبی با دز معادل یکی می‌شود [۳]. دز مؤثر کمیتی است که برای کل بدن تعریف می‌شود. آسیب‌های وارد شده به بافت‌های مختلف بدن به دلیل حساسیت متفاوت بافت‌ها نسبت به تابش یکسان نیست. دز مؤثر از مجموع حاصل ضرب دز جذبی در ضریب وزنی بافت مربوط به آن عضو نتیجه می‌شود [۴].

به دلیل اهمیت موضوع، برخی از پژوهشگران، مطالعاتی را بر روی میزان دز جذبی ناشی از سزیم  $^{137}\text{Cs}$  آزاد شده در محیط به دلیل حوادث هسته‌ای انجام داده‌اند [۵]. همچنین پژوهش‌هایی در زمینه میزان دز دریافتی ناشی از تابش‌های هسته‌ای بر روی افراد شاغل با شرایط کار عادی در مراکز هسته‌ای انجام گرفته است [۶]. تحقیقاتی نیز در زمینه میزان دز دریافتی کارکنان راکتور تحقیقاتی ۵MW با استفاده از فانتوم راندو و دزیمترهای ترمولومینسانس انجام گرفته است [۷].

### روش کار :

در این پژوهش، میزان دز دریافتی کاربر، در یک محیط آزمایشگاهی کوچک و بسته که تحت تاثیر چشمه‌های رادیواکتیو می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته است. چشمه‌های شبیه‌سازی شده، چشمه‌های پرتوزای  $^{137}\text{Cs}$ ،  $^{60}\text{Co}$  و  $^{90}\text{Sr}$  می‌باشند، که در موارد تحقیقاتی در آزمایشگاه‌های هسته‌ای کاربرد زیادی دارند. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به چشمه‌ها آورده شده است.

جدول (۱): اطلاعات مربوط به چشمه‌های پرتوزا

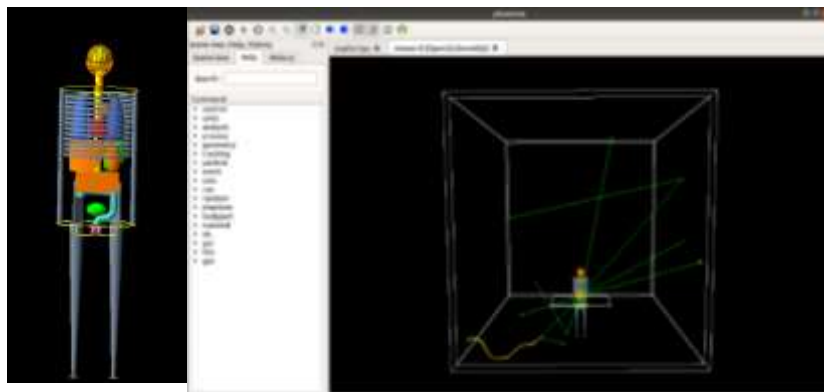
فعالیت ( $\mu\text{Ci}$ )	انرژی ( $\text{keV}$ )	نیمه عمر (سال)	چشمه
۷/۲۳	۶۶۲	۳۰/۱۲	$^{137}\text{Cs}$
۱/۹۹	۱۱۷۳ ۱۳۳۲	۵/۲۷	$^{60}\text{Co}$
۱/۲۸	۵۴۶	۲۸/۷۹	$^{90}\text{Sr}$

در این پژوهش از کد مونت کارلوی Geant4 نسخه ۱۰،۰۴ به منظور محاسبه دز جذبی در اندام‌های مختلف فانتوم مردانه (MIRD) استفاده شده است. فانتوم مورد نظر از بافت نرم، استخوان و چربی ساخته شده است. فانتوم‌های ریاضی به هر



یک از اعضای داخلی و سطوح خارجی بدن یکسری حجم‌ها و هندسه‌های ریاضی نسبت داده می‌شود که این حجم‌ها از تلاقی سطوح هندسی تشکیل شده‌اند. فانتوم وکسل تصویر سه بعدی یک شخص می‌باشد که با عکس برداری به روش‌های مختلف به دست می‌آیند، به همین دلیل دقت محاسبات در آن‌ها بیشتر بوده و در نتیجه سرعت انجام محاسبات کمتر خواهد بود و زمان طولانی‌تری برای محاسبه دز نیاز می‌باشد. نکته دیگر در دزسنجی این است که باید دز رسیده به سطح یک عضو را تخمین زد و در این گونه موارد نمی‌توان از فانتوم‌های وکسل استفاده کرد زیرا در این مدل سطوح بین اعضا مشخص نیست. پس باید محاسبات دزسنجی در فانتوم‌های عمومی‌تری انجام شود. اولین نکته در محاسبه‌ی دز، شناخت هندسه‌ی چشمه می‌باشد، که در این محاسبات، هندسه‌ی چشمه‌ها به صورت نقطه‌ای با توزیع انرژی همسانگرد در نظر گرفته شده است تا بتوان میزان دز دریافتی اندام‌های مختلف بدن را مشخص کرد.

چشمه‌های مورد استفاده در این شبیه سازی بر روی میزی با ضخامت ۵ میلی‌متر از جنس استیل قرار گرفته شده‌اند که در راستای محور X به اندازه ۶۰ سانتی‌متر از فانتوم فاصله دارند. با توجه به اینکه محیط آزمایشگاه هسته‌ای با دیوارهای بتنی محصور شده است و احتمال بازتاب پرتوها از طرف دیواره وجود دارد به همین دلیل فانتوم، داخل اتاقکی از جنس بتن قرار داده شده تا اثر پرتوهای بازگشتی از طرف دیواره نیز در محاسبات دزسنجی وارد شود. نمایی از سیستمی که به این صورت توسط کد Geant4 طراحی شده در شکل (۱) آمده است.



شکل (۱): شماتیکی از فانتوم مردانه (MIRD) به همراه محیط شبیه‌سازی شده

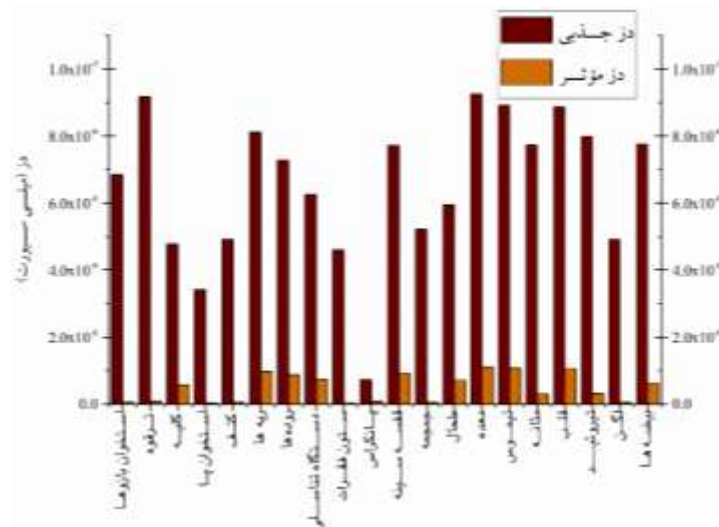
به منظور شبیه‌سازی، نخست مشخصات رادیوایزوتوپ‌های سزیم-۱۳۷، کبالت-۶۰ و استرانسیوم-۹۰ که به عنوان چشمه‌های مولد پرتو گاما و بتا می‌باشند، در داخل یک فایل متنی به برنامه اضافه شده است. با استفاده از اکتیویته‌ی ایزوتوپ‌ها، تعداد پرتوهای خارج شده از چشمه برای مدت زمان یک ساعت محاسبه شد، پس از اتمام محاسبات شبیه‌سازی، در

خروجی برنامه انرژی جذب شده در بافت‌های مختلف فانتوم به دست آمد و دز جذبی و دز مؤثر برای اندام‌های مختلف بدن محاسبه گردید.

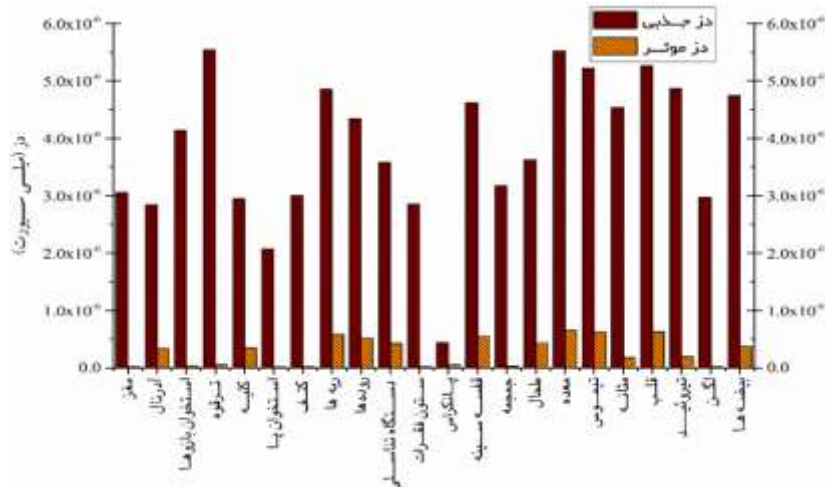
### نتایج :

با توجه به انرژی انباشته شده در حجم مشخصی که به یک عضو نسبت داده شده است دز دریافتی در هر یک از اندام‌های فانتوم MIRD که به صورت اشکال ریاضی با مواد تشکیل دهنده‌ی شبیه بافت‌های بدن طراحی شده‌اند بدست آمد که در شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) نشان داده شده است.

نتایج مربوط به دز جذبی و دز مؤثر اندام‌های مختلف فانتوم در اثر تابش پرتوهای گامای حاصل از چشمه سزیم ۱۳۷ و کبالت ۶۰ در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است. میزان دز دریافتی در اندام‌هایی مانند ترقوه، معده، قلب و ریه‌ها نسبت به اندام‌های دیگر بیشتر می‌باشد؛ به دلیل اینکه موقعیت این اندام‌ها به گونه‌ای است که به صورت مستقیم در معرض تابش پرتوها قرار دارند. هر چقدر اندام‌های فانتوم به چشمه نزدیک‌تر باشد، میزان زیادی دز دریافت می‌کند. فاصله بیشتر، باعث عبور پرتو از بافت‌های مختلف بدن می‌شود در نتیجه کاهش پرتو را در پی دارد که منجر به کاهش دز دریافتی در اندام‌های داخلی بدن می‌شود.

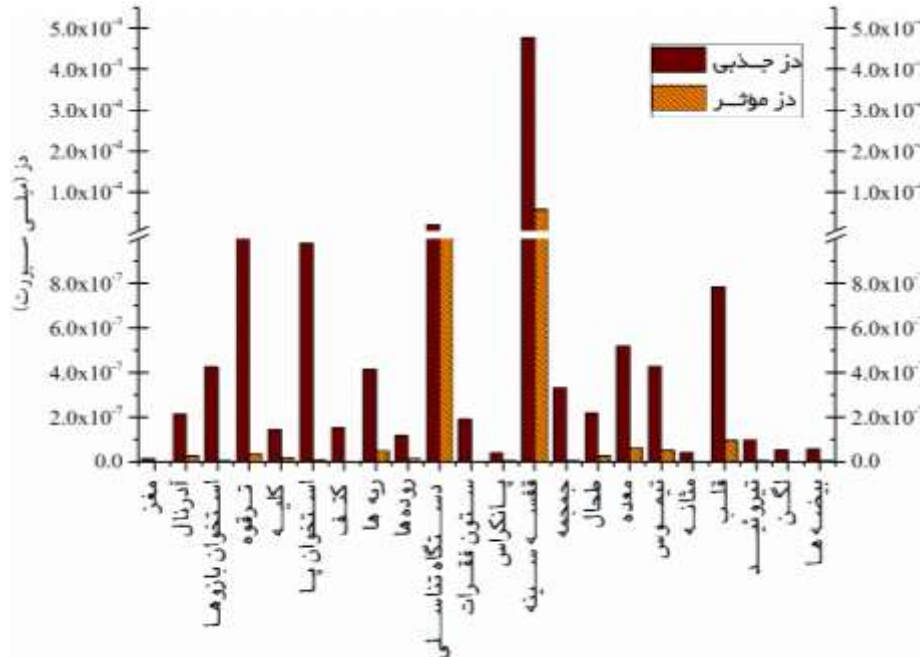


شکل (۲): دز دریافتی اندام‌های متفاوت بدن، در اثر تابش‌های حاصل از سزیم ۱۳۷ در فانتوم مردانه



شکل (۳): دز دریافتی اندام‌های متفاوت بدن، در اثر تابش‌های حاصل از کبالت ۶۰ در فانتوم مردانه

در شکل (۴) مقادیر دز مؤثر و دز جذبی بافت‌های فانتوم برای ایزوتوپ بتا گسیل استرانسیوم ۹۰ نشان داده شده است. ذرات بتای حاصل از  $^{90}\text{Sr}$  تک انرژی نبوده بلکه طیف پیوسته‌ای از انرژی می‌باشند. قدرت جذب انرژی پرتو بتا عمدتاً به چگالی سطحی الکترون‌های ماده جاذب بستگی دارد و با توجه به اینکه دانسیته الکترونی استخوان بیشتر از بافت نرم می‌باشد، بافت‌های داخلی بدن که موقعیت آن‌ها پشت دنده‌های قفسه سینه قرار دارد؛ دز جذبی کمتری به دلیل اثر شیلدی استخوان دارند.



شکل (۴): دز دریافتی اندام‌های متفاوت بدن، در اثر تابش‌های حاصل از استرانسیوم ۹۰ در فانتوم مردانه

آزمایشگاه فیزیک هسته‌ای یکی از دروس دو واحدی می‌باشد که برای دانشجویان فیزیک ارائه می‌شود تا در یک ترم، برای آشنایی با چشمه‌های رادیواکتیو و تابش‌های آن و انجام آزمایش‌های مربوط به درس فیزیک هسته‌ای و آشکارسازی به مدت ۶۰ ساعت در آزمایشگاه حضور داشته باشند. در آزمایشگاه فیزیک هسته‌ای دانشگاه تبریز به طور معمول از سه چشمه‌ی سزیم ۱۳۷، کبالت ۶۰ و استرانسیوم ۹۰ در انجام آزمایش‌ها استفاده می‌شود که به طور متوسط سهم هر یک از چشمه‌های مورد استفاده شده حدود ۲۰ ساعت در نظر گرفته شده است. در این مطالعه دز مؤثر ناشی از قرار گرفتن در معرض رادیوایزوتوپ‌ها برای بیش از ۲۰ اندام از بدن انسان (فانتوم) محاسبه شد که دز مؤثر محاسبه شده برای کل فانتوم که مربوط به هر یک از این چشمه‌های رادیواکتیو در طول یک ترم می‌باشد در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲): دز مؤثر به دست آمده از رادیوایزوتوپ‌ها

	چشمه	سزیم ۱۳۷	کبالت ۶۰	استرانسیوم ۹۰	
نتایج	دز مؤثر (میکرو سیورت)	۰/۲۲۷	۰/۱۳۵	۱/۴۶	شبیبه
سازی					نشان



می‌دهد که دز مؤثری که دانشجویان در طول یک ترم، در محیط آزمایشگاه از چشمه‌های مذکور دریافت می‌کنند، در حدود  $1/83 \mu Sv$  می‌باشد.

### بحث و نتیجه گیری :

در این پژوهش، دز جذب شده بر اثر تابش چشمه‌های رادیواکتیو در اندام‌های متفاوت فانتوم MIRD محاسبه شد. چشمه در راستای محور X نسبت به فانتوم قرار دارد و به صورت همسانگرد تابش گسیل می‌کند؛ در این صورت بدن به صورت یکنواخت، تحت تابش قرار دارد و این امر موجب می‌شود که اعضای سطحی بدن بیشتر در معرض پرتوگیری قرار گرفته و در نتیجه دز بیشتری دریافت نمایند. عوامل متعددی از قبیل تفاوت در جایگاه قرار گرفتن اعضا، اندازه‌ی عضو، انرژی و نوع اندرکنش فوتون و نیز فاصله عضو تا محل چشمه، باعث می‌شود میزان آسیب‌پذیری اعضا بسیار متفاوت باشد. براساس پروتکل‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (ICRP) و حفاظت در برابر اشعه (IAEA) دز مجاز برای عموم مردم و کارکنان مراکز هسته‌ای به ترتیب ۱ و ۵۰ میلی‌سیورت در سال تعیین شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که میزان دز جذبی در اندام‌های مختلف دانشجویانی که در معرض تشعشعات چشمه‌های موجود در آزمایشگاه قرار می‌گیرند کمتر از استانداردهای ملی و بین‌المللی می‌باشد.

### مراجع :

- [۱] Allison, John, Katsuya Amako, J. E. A. Apostolakis, H. A. A. H. Araujo, P. Arce Dubois, M. A. A. M. Asai, G. A. B. G. Barrand et al. "Geant4 developments and applications." IEEE Transactions on nuclear science 53, no. 1. 270-278, (2006)
- [۲] Tin win D. Neutron Activation Analysis (NAA). AU J.T. Jul; 8(1); 8-14, (2004).
- [۳] Valentin, Jack. "Relative biological effectiveness (RBE), quality factor (Q), and radiation weighting factor (wR): ICRP Publication 92." Annals of the ICRP 33, no. 4, 1-121, (2003).
- [۴] United Nations. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation: sources. Vol. 1. United Nations Publications, (2000).
- [۵] Krstić, Dragana Ž., Dragoslav R. Nikezić, and Milovan D. Matović. "Absorbed doses in human organs from  $^{137}Cs$  in soil." Medicus 6, no. 3. 30-33, (2005).
- [۶] Lee, Byoung-il, So-I. Kim, Dong-hee Suh, Young-woo Jin, Jeong-in Kim, Hoon Choi, and Young-khi Lim. "Radiation dose distribution for workers in South Korean nuclear power plants." Radiation protection dosimetry 140, no. 2. 202-206, (2010).
- [۷] Mossadegh N., Karimian A., Shahhosseini E., Mohammdzadeh A., Sheibani Sh., "Assessment of Personnel Absorbed Dose at 5(MW) Research Reactor Using Rando Phantom and Thermoluminescent Dosimeter", 2011 Nuclear Conference of Iran., Isfahan, Iran, (2011).