



## تخمین معادل دز جذبی اندامهای مختلف بدن حین کار با رادیوداروهای حاوی تکنسیوم-۹۹

هانیه شعبانپور<sup>۱</sup>، پیمان رضاییان<sup>۲\*</sup>، امیرعباس صبوری دودران<sup>۱</sup> و آیتا عالیپور<sup>۲</sup>

۱ - گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور مرکز گرمدره، کرج، ایران

۲ - پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران

\*تهران، انتهای خیابان کارگر شمالی، سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ۳۴۸۶-۱۱۳۶۵

پست الکترونیکی: prezaeian@aeoi.org.ir

### چکیده:

به علت تابش گاما ناشی از رادیوایزوپ های مورد استفاده برای اهداف تشخیصی و درمانی مانند تکنسیوم-۹۹، کارکنان و تکنسین های مراکز پزشکی هسته‌ای در معرض پرتوگیری هستند. مقدار معادل دز دریافتی کارکنان، با استفاده از دزیمترهای فردی تعیین می‌شود. با توجه به این که مراحل دوشیدن، آماده سازی و تزریق رادیودارو توسط تکنسین انجام می‌شود، دست‌ها و سایر اعضاء تکنسین در معرض تابش قرار خواهند گرفت. در این تحقیق معادل دز اندام‌های داخلی بدن دز موثر با استفاده از یک فانتوم رندو و دزیمترهای ترمولومینسانس اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری نشان می‌دهد که مقادیر معادل دز جذبی در ارگان‌هایی از بدن که به چشمه نزدیک‌ترند بیشتر است. ولی با این وجود، با در نظر گرفتن دز موثر کل و ساعت کاری در طول یک سال دز موثر کل از مقدار حد مجاز سالانه ( $20 \text{ mSv}$ ) کمتر خواهد بود.

**کلمات کلیدی:** معادل دز، پزشکی هسته‌ای، فرآیند تشخیصی، تکنسیوم-۹۹، فانتوم رندو، دزیمتر ترمولومینسانس

### مقدمه:

در پزشکی هسته‌ای رادیوداروها، با اهداف تشخیصی و درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱-۲]. یک رادیودارو متشکل از یک رادیوایزوتوپ و یک حامل است. نقش حامل انتقال رادیوایزوتوپ به بافت یا عضو مورد نظر در بدن بیمار می‌باشد. مهمترین بخش یک رادیودارو، رادیوایزوتوپ مورد استفاده در آن است. یکی از مهمترین رادیوایزوتوپ‌های مورد استفاده تکنسیوم-۹۹ است. این رادیوایزوتوپ با گذار ایزومریک با گسیل دو پرتوی گاما با انرژی‌های  $142/6$  و  $140/5$  الکترون‌ولت به حالت پایدار می‌رسد، که در این میان فوتون گاما با انرژی  $140/5$  کیلوالکترون‌ولت غالب می‌باشد.

به منظور استفاده از این رادیوایزوتوپ پیش از تزریق به بیمار باید با یک حامل ترکیب شود. با توجه به پرتوزا بودن رادیوایزوتوپ‌ها در مراحل دوشیدن، آماده سازی و تزریق رادیودارو، تکنسین مربوطه پیوسته در معرض پرتوهای یونساز



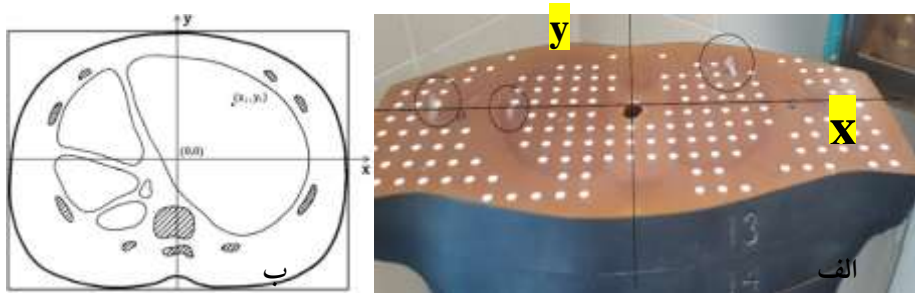
قرار می‌گیرد. قسمت‌های مختلف بدن تکنسین با توجه به موقعیت مکانی نسبت به رادیودارو ممکن است مقادیر مختلف دز را دریافت کند.

با توجه به اینکه شاغلین بخش‌های پزشکی هسته‌ای مراکز درمانی، در گروه شغلی پرتوکاران قرار می‌گیرند، میزان پرتوگیری آن‌ها با استفاده از دزیمترهای فردی پایش و در صورت نیاز مراقبت‌های لازم بر روی آن‌ها صورت می‌گیرد. به منظور جلوگیری از پرتوگیری ارگان‌های داخلی، معمولاً شاغلین بخش‌های پزشکی هسته‌ای باید از روپوش‌های سربی استفاده کنند که بنا بر احتمالات مختلف، ممکن است شرایط استفاده از این ابزارها وجود نداشته باشد و اندام‌های داخلی کارکنان در معرض پرتوگیری داخلی قرار گیرند. در شرایط عادی امکان اندازه‌گیری این پرتوگیری وجود ندارد و تعیین آن به روش شبیه‌سازی نیز به دلیل تعداد زیاد پارامترهای درگیر و البته ماهیت دینامیکی مسئله چندان راحت نیست. در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از یک فانتوم رندو، معادل دز جذبی در ارگان‌های مختلف بدن که در مجاورت رادیوایزوتوپ تکنسیوم-۹۹ قرار دارد تخمین زده شود. بدین منظور دزیمترهای ترمولومینسانس GR-200 را در نقاط مختلف ارگان‌های بدن در فانتوم رندو قرار داده و حدود ۳ ساعت در مجاورت تکنسیوم-۹۹ با اکتیویته حدود ۲ کوری قرار گرفت. پس از اتمام پرتودهی دزیمترهای جمع‌آوری و قرائت آن‌ها انجام شد. نتایج بدست آمده بر اساس میزان اکتیویته مورد استفاده در یک روز در مراکز درمانی و ساعات کاری تکنسین نرمال شد.

## روش کار :

در این مقاله اندازه‌گیری‌ها در یک فانتوم رندو انجام شده است. فانتوم رندو ابزار ویژه‌ای است که در پژوهش‌های پرتوتشخیصی و پرتودرمانی در مراکز پزشکی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فانتوم از ماده‌ای معادل بافت انسان ساخته شده و شامل کلیه اعضا بدن مانند عضلات، استخوان‌ها و..... است. ابعاد فانتوم رندو قابل مقایسه با بدن انسان است و امکان تعیین توزیع دز در ارگان‌های مختلف با استفاده از این فانتوم وجود دارد. در این مطالعه، یک فانتوم رندو مرد برای تعیین دز جذب شده در اندام‌های مختلف بدن در طول تابش مورد استفاده قرار گرفته است. فانتوم‌های رندو طبق اسکلت‌های طبیعی مرد و زن با وزن کل ۷۳/۵ کیلوگرم، طول کل بدن ۱۰۰ سانتیمتر و مساحت سطح بدن ۱۸۰۰۰ سانتیمتر مربع ساخته می‌شود. این فانتوم دارای ۳۵ صفحه است که بر روی هر صفحه امکان قرارگیری دزیمترها وجود دارد (شکل ۱-الف). به منظور انجام اندازه‌گیری‌ها و مشخص کردن دزیمترها، از مختصات نشان داده شده در شکل (۱-ب) استفاده شد.

مطابق با تصویر نشان داده شده در این شکل، برای تعیین محل هر دزی متر از سه عدد استفاده شده است که عدد اول نشان دهنده شماره صفحه و اعداد دوم و سوم نماینده مختصات کارتیزین محل مورد نظر است. مبدا مختصات دستگاه مورد نظر در مرکز هر صفحه قرار داده شد.



شکل (۱): الف: تصویر یکی از صفحات فانتوم رندو. ب: دستگاه مختصات مورد استفاده.

به منظور تخمین معادل دز، ارگان‌های مهم تعیین و دزی مترها در محل آنها قرارداد شده‌اند. در شکل (۱-الف) نقاط مشخص شده محل قرارگیری دزی مترها در یک صفحه فانتوم است. در جدول (۱) ارگان‌های تحت بررسی و مختصات آنها آورده شده است.

جدول (۱): ارگان‌ها و مختصات آنها در فانتوم رندو [۳ و ۴]

مختصات	ارگان
$1(3,-4), 2(-3,2), 3(-3,3), 4(-3,-4)^*$	مغز
$6(5,0), 6(-5,0), 7(2,4), 7(-2,-4)$	غدد بزاقی
$6(-2,1), 7(3,3)$	مخاط دهانی
روی چشم قرار داده شد.	چشم
$9(2,3), 9(-2,3)$	تیروئید
$12(1,4), 12(-1,4)$	تیموس
$9(-3,4), 13(3,0), 14(15,5), 28(0,0)$	غدد لنفاوی
$1(5,-1), 4(0,2), 10(3,1), 12(7,0), 16(3,5), 19(6,-6), 23(-3,-3), 27(3,-2), 31(-6,-8), 34(8,-10)$	مغز استخوان (قرمز)
$-5), 16(7,5), 16(9,0), 11(-6,0), 12(7,0), 13(4,6), 13(-6,0), 13(-9,0), 14(-8,-5),$	ریه
$17(-5,-4), 17(6,3), 18(-6,-3), 18(9,0), 19(6,-4), 19(6,2), 14(7,4), 14(9,0), 15(10,$	
$17(9,10), 17(-9,9)$	سینه
$12(0,0), 14(0,-2), 16(0,-2)$	مری
$19(6,2), 20(6,5), 21(0,5), 22(-3,-5), 23(6,-4), 24(9,2)$	کبد



۲۴(۶.۰)،۲۵(-۶.۰)،۲۶(۶.۰)،۲۷(-۶.۰)،۲۸(۹.۰)	روده کوچک
۲۵(۶.۳)،۲۶(-۹.۰)،۲۷(-۹.۰)،۲۸(۹.۰)،۲۹(-۳.۰)	کولون
۳۱(۳.۴)،۳۲(۳.۳)،۳۳(۰.۳)	مناشه
۳۴(۳.۱)،۳۴(-۳.۱)	پروستات
روی آن قرار داده شد.	گنادها
روی آن قرار داده شد.	پوست

\* با توجه به محدودیت تعداد دزیمترها، گستردگی اندام‌ها و عدم نیاز به دانستن توزیع دز، تلاش شد تا دزیمترها به صورت یکنواخت در سراسر هر اندام قرار داده شوند

دزیمترها براساس گستردگی هر ارگان، در نقاط مختلف آن ارگان قرار داده شدند. برای تعیین دز جذبی در هر نقطه، از دزیمترهای ترمولومینسانس GR-200 استفاده شد. پس از کالیبراسیون برای خالی شدن کلیه ترازهای گیرانداز به مدت ۱۰ دقیقه دزیمترها در دمای ۲۴۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. برای محافظت در برابر آلودگی‌های خارجی و قرارگیری بهتر دزیمترها در فانتوم رندو، دزیمترها را در یک فویل شفاف قرار داده و در قسمت ارگان مورد نظر ثابت شدند. به منظور پرتودهی، رادیوایزوتوپ تکنسیوم-۹۹ با اکتیویته ۲/۱۶۲ میلی کوری (در یک ویال پلاستیکی) در فاصله ۳۰ سانتیمتری همانگونه که در شکل (۲) نشان داده شده است در مقابل فانتوم قرار گرفت.



شکل (۲): قرار گیری رادیوایزوتوپ تکنسیوم-۹۹ در مقابل فانتوم رندو.



مدت زمان پرتودهی ۳ ساعت بود و درخاتمه پرتودهی، اکتیویته چشمه به ۱/۳۵ میلی کوری تنزل یافته بود. دلیل انتخاب فاصله و ارتفاع چشمه از ارتفاع طراحی چیشش آزمایش مشابه با شرایطی است که در یک مرکز پزشکی هسته‌ای رخ می‌دهد.

با اتمام پرتودهی و قبل از خوانش دزیمترهای GR-200، به منظور حذف قله‌های ناشی از ترازهای سطحی، ابتدا دزیمترها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرند. برای خوانش دزیمترها از دستگاه قرائت گر مدل Harshaw-4500 استفاده شد. دزیمترها با آهنگ خطی ۱۰ درجه سانتیگراد بر ثانیه از دمای محیط تا ۲۴۰ درجه سانتیگراد گرم و منحنی تابش ترمولومینسانس آن‌ها ثبت و مقدار بار جمع شده تعیین گردید. مقدار قرائت شده بار ( $Q_{TL}$ ) با استفاده از رابطه زیر به دز جذبی تبدیل می‌شود:

$$Dose\ Equivalnet = (Q_{TL} \times ECC) \times \alpha \times \frac{RI}{RI_0} \times Cf \quad (1)$$

در رابطه (۱)، ECC حساسیت دزیمترهای ترمولومینسانس،  $\alpha$  ضریب تصحیح انرژی،  $RI_0$  شدت نور مرجع در آغاز به کار دستگاه، RI شدت نور مرجع در هر ۱۰ قرائت و Cf ضریب کالیبراسیون دزیمترها می‌باشد. مقدار حساسیت دزیمترها با پرتودهی آن‌ها در یک میدان پرتویی کالیبره شده  $^{137}Cs$ ، تعیین شده است. دزیمترها در میدان سزیوم-۱۳۷ با انرژی ۶۶۲ کیلو الکترون ولت کالیبره شدند، در حالی که از این دزیمترها برای تعیین معادل دز فوتون‌های ۱۴۰/۵ کیلو الکترون ولت ناشی از رادیوایزوتوپ تکنسیوم-۹۹ استفاده شد. بر این اساس باید ضریب تصحیح انرژی تعیین و در محاسبات اعمال شود. ضریب تصحیح انرژی دزیمترهای GR-200 برای انرژی ۱۴۰/۵ کیلو الکترون ولت ۰/۸۶ است [۵]. با استفاده از رابطه (۱) میزان معادل دز جذبی محاسبه شد. به منظور محاسبه در بدترین شرایط، بیشینه معادل دز جذبی در هر ارگان به عنوان دز جذبی آن ارگان در نظر گرفته شد.

## نتایج :

نتایج اندازه‌گیری شده آهنگ معادل دز بیشینه بر واحد اکتیویته و حاصلضرب این عدد در ضریب وزنی هر ارگان در جدول (۲) نشان داده شده است.



جدول (۲): مقادیر بیشینه دز معادل و دز موثر برای هر ارگان

نام ارگان	آهنگ میانگین معادل دز بر اکتیویته ( $\frac{\mu\text{Sv}}{\text{mCi.h}}$ )	حاصل ضرب میانگین معادل دز در ضریب وزنی ( $\frac{\mu\text{Sv}}{\text{mCi.h}}$ )
مثانه	$1/0 \times 10^{-2}$	$3/37 \times 10^{-4}$
کولون	$2/0 \times 10^{-3}$	$2/02 \times 10^{-3}$
معهده	$1/0 \times 10^{-4}$	$1/01 \times 10^{-3}$
کبد	$1/0 \times 10^{-2}$	$3/37 \times 10^{-4}$
ریه	$8/0 \times 10^{-3}$	$8/08 \times 10^{-4}$
سینه	$5/0 \times 10^{-2}$	$5/05 \times 10^{-3}$
سایر ارگان‌ها*	$5/0 \times 10^{-3}$	$5/05 \times 10^{-4}$
مغز	$1/5 \times 10^{-3}$	$1/26 \times 10^{-5}$
مری	$5/0 \times 10^{-3}$	$1/68 \times 10^{-4}$
تیروئید	$5/0 \times 10^{-3}$	$1/68 \times 10^{-4}$
غدد بزاقی	$3/0 \times 10^{-3}$	$2/53 \times 10^{-5}$
مغز استخوان	$2/0 \times 10^{-3}$	$2/02 \times 10^{-4}$
گنادها	$4/0 \times 10^{-3}$	$2/69 \times 10^{-4}$
دز پوست	$8/0 \times 10^{-3}$	$6/73 \times 10^{-5}$

\* سایر ارگان‌ها شامل پروستات، روده‌ی کوچک، تیموس، مخاط دهانی، غدد لنفاوی است.

با توجه به مقادیر محاسبه شده مشاهده می‌شود که مقادیر معادل دز جذبی ارگان‌ها در بخش جلویی بدن که نزدیک چشمه است بیشتر بوده است. با جمع کردن ستون سوم در جدول (۲) مقدار دز موثر به صورت  $1/09 \times 10^{-2}$  میکروسیورت بر ساعت بر میکروکوری محاسبه می‌شود. با توجه به اطلاعات میدانی کسب شده از مراکز پزشکی هسته‌ای، می‌توان گفت شاعلین پرتوکار این مراکز در هفته، سه روزی کاری دارند که در این سه روز کاری در حدود ۳ ساعت در مجاورت پرتوهای یون‌ساز قرار دارند. اکتیویته میانگینی که این افراد در طول روز با آن کار می‌کنند نیز در حدود ۵۲۲ میلی‌کوری است. با احتساب این مقادیر، میزان دز موثر این افراد در طول ۱ سال به صورت زیر محاسبه خواهد شد.

$$D_{\text{year}} = 1.09 \times 10^{-2} \frac{\mu\text{Sv}}{\text{mCi.h}} \times 3 \text{ day} \times 4 \text{ week} \times 12 \text{ month} \times 3 \text{ hours} \times 522 \text{ mCi} = 2.48 \text{ mSv/Year}$$

نتایج نشان می‌دهد که میزان دز موثر جذبی در یک سال، با فرض متوسط اکتیویته رادیوایزوتوپ در حدود ۵۲۲ میلی‌کوری در هر روز از مقدار حد مجاز سالانه دز موثر کل ۲۰ mSv، کمتر خواهد بود.



### بحث و نتیجه گیری:

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میزان دز موثر تخمین زده شده در طول یک سال، برای کارکنانی که در مجاورت رادیو داروهای حاوی تکنسیوم-۹۹ هستند حدود ۲/۴۸ میلی سیورت است. البته در تخمین این مقدار ساده سازی‌های بسیار زیادی صورت گرفته است و قطعا این عدد برای کارکنان مختلف که از روش‌های متفاوت استفاده می‌کنند و با توجه به نوع رادیوایزوتوپ مورد کاربرد می‌تواند متغیر باشد. با توجه به اینکه امکان این اندازه گیری برای تکنسین وجود ندارد از فانتوم رندو استفاده شده و ساده سازی‌هایی در آن وارد شده است. با این وجود مرتبه عدد که در بدبینانه ترین حالت محاسبه شده است از ۲۰ میلی سیورت و البته ۶ میلی سیورت ( یک سوم حد مجاز سالانه) کمتر می باشد که نشان دهنده مناسب بودن ساعات کاری و میزان اکتیویته مورد استفاده است. با این وجود پیشنهاد می‌شود که ابزار حفاظتی نظیر روپوش‌های سربی توسط کارکنان بکار گرفته شود و از افزایش شرایط کاری نظیر، افزایش تعداد بیماران، کار با اکتیویته بیشتر و افزایش ساعات کاری در مرکز خودداری گردد.

### مراجع:

- 1- M. Krupa et al, Technetium-99m pyrophosphate cardiac SPECT in endomyocardial biopsy negative cardiac amyloidosis, Radiology Case Reports, 13(2018) 925-928.
- 2- J.R. Gary et al, Technetium-99m-Labeled HL91 to Identify Tumor Hypoxia: Correlation with Fluorine-18-FDG, The Journal of Nuclear Medicine, 39 (1998) 99-103.
- 3- Rahman, M. O., Dose distribution to the different organs for various field size(s) using Alderson Rando Phantom for <sup>60</sup>Co Gamma beam during radiotherapy in procedure, M.Sc. thesis, Bangladesh university of engineering and technology, (2005).
- 4- Scalzetti et al, A method to brain mean organ doses in a rando phantom. health physics, 95(2008) 241-244.
- 5- Lisa Duggan et al, Variations in dose response with x-ray energy of LiF:Mg,Cu,P thermoluminescence dosimeters: implications for clinical dosimetry, Physics in Medicine and Biology 49 (2004) 3831-3845.