

دزسنجی داخلی ید پرتوزا با استفاده از فانتوم‌های مرجع جهانی و مدل جدید حرکت زیستی

سوسن خلیلی، سید هاشم میری حکیم آباد* و علییه حسینیان ازغدی

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

خراسان رضوی، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، کدپستی: ۹۱۷۷۵-۱۴۳۶

پست الکترونیکی: mirihakim@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

هدف این مطالعه محاسبه دز ناشی از دریافت ید-۱۳۱ در بدن انسان با استفاده از مدل حرکت زیستی جدید معرفی شده در سال ۲۰۱۷ است. به این منظور از فانتوم‌های محاسباتی مرجع که توسط کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه ICRP معرفی شده، استفاده شده است. محاسبات به روش مونت کارلو و توسط کد MCNPX 2.6 انجام شده است. مقدار میانگین دز اندام هدف به ازای یک واپاشی در اندام چشمه که به کمیت S مشهور است، توسط دو نوع تالی F6 و F8* از کد مونت کارلو استخراج و با نتایج مطالعات دیگر مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که اختلاف بین مقادیر S با استفاده از این دو نوع تالی به طور میانگین کمتر از ۸٪ است. هم‌چنین تغییرات ناشی از استفاده از طیف‌های مختلف واپاشی ید-۱۳۱ بررسی شد. در نهایت، دز جذبی و دز موثر برای فانتوم زن و مرد مرجع ICRP محاسبه گردید و تغییرات دز ناشی از مدل حرکت زیستی برآورد شد. به عنوان نتیجه‌گیری نهایی می‌توان به این نکته اشاره کرد که استفاده از تالی‌ها و طیف‌های مختلف و هم‌چنین مدل حرکت زیستی متفاوت می‌تواند مقادیر دز را به طور قابل توجهی تغییر دهد.

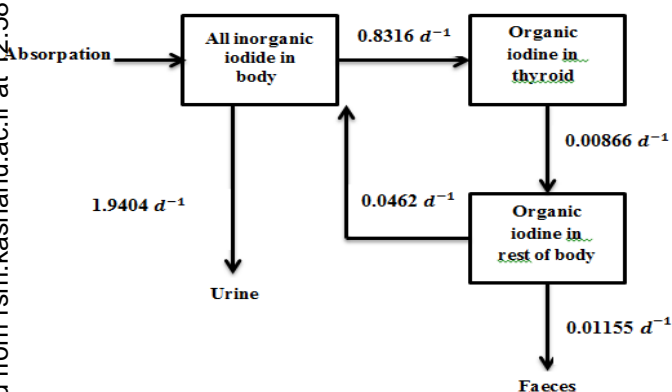
کلیدواژه‌گان: دزسنجی داخلی، ید-۱۳۱، مدل حرکت زیستی، فاکتور S، دز جذبی، دز موثر

۱. مقدمه

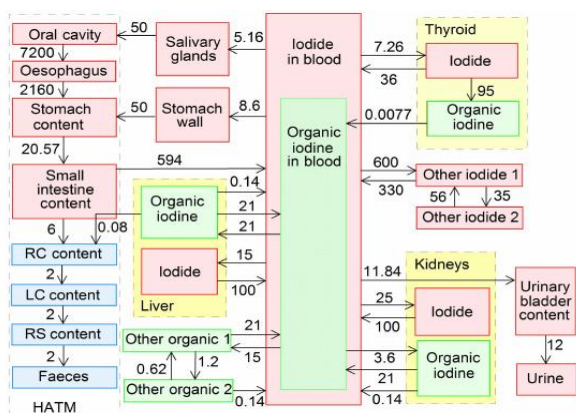
هنگامی که یک رادیو دارو یا هر ماده پرتوزای دیگر وارد بدن انسان می‌شود، اندام‌های بدن تحت تابش پرتوهای گسیل شده از آن قرار می‌گیرند. ید-۱۳۱ به عنوان یکی از پرکاربردترین رادیوایزوتوپ‌های مورد استفاده در پزشکی هسته‌ای مطرح است. پس از دریافت این رادیوایزوتوپ توسط بدن، غده تیروئید به طور قابل توجهی آن را برداشت می‌کند. از این ویژگی مهم ید در جهت تشخیص و درمان تیروئید استفاده می‌شود. از دیدگاه حفاظت در برابر پرتو لازم است تا مقدار دز دریافتی اندام‌های بدن ناشی از دریافت این رادیوایزوتوپ معین باشد. از این رو، تخمین دز در فرایندهای تشخیصی و درمانی پزشکی هسته‌ای مورد توجه قرار می‌گیرد [۲]. برای انجام محاسبات دزسنجی دو عامل نقش اساسی دارد: مقدار S و مقدار پرتوزایی در اندام‌های مختلف بدن. مقدار S توسط محاسبات مونت کارلو برای هر فانتوم تعیین می‌شود. بنابراین تالی مورد استفاده در کد و طیف شبیه‌سازی شده می‌تواند تغییراتی در آن ایجاد کند. از طرف دیگر، مقدار پرتوزایی هر

۲.۲. مدل های حرکت زیستی رادیواکتیو ید

مدل های زیستی بخش ضروری در محاسبات دز ناشی از هسته های پرتوزای دریافتی در داخل بدن هستند. در اینجا دو مدل با تعداد اجزاء مختلف استفاده شده است. اولین مدل حرکت زیستی، مدل ارائه شده توسط ICRP 56 است (شکل ۱). دومین مدل، مدل لگت ۲۰۱۷ است که جزئیات حرکت زیستی را به طور جداگانه با ید ارگانیک و غیر ارگانیک با ۲۴ مولفه نشان داده است (شکل ۲). برای حل این دو مدل، کدی در نرم افزار Maple نوشته شده است که قادر است حل معادلات دیفرانسیلی مربوط به اجزاء مختلف مدل ارائه دهد [۳].



شکل (۱). مدل پیشنهاد شده توسط ریگز که برای حفاظت در برابر تابش توسط مرجع جهانی مورد استفاده قرار گرفته است [۳].



شکل (۲): ساختاری از مدل پیشنهاد شده توسط لگت برای حرکت ید

در بدن [۴].

اندام نیز توسط مدل حرکت زیستی ید در بدن تعیین می شود. تا سال ۲۰۱۰ از مدل قدیمی ICRP 56 که مربوط به سال ۱۹۹۱ است به عنوان آخرین مدل موجود استفاده می شد [۲]. اما در سال ۲۰۱۰ و متعاقب آن در سال ۲۰۱۷، مدل کامل تری برای ید توسط لگت معرفی شد.

لذا هدف از این کار با توجه به تاکید کمیته جهانی به اهمیت انجام محاسبات برای تخمین بهتر دز دریافتی، استفاده از مدل های جدید حرکت زیستی ید در بدن و انجام محاسبات دزسنجی بوده است. به این منظور، معادلات دیفرانسیلی/انتگرالی حرکت رادیودارو براساس مدل های حرکتی جدید تعریف و پرتوزایی انباشته شده اندام های بدن محاسبه شده است. همچنین با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو، مقادیر S برای زوج چشمه-هدف فانتوم های مرجع جهانی تعیین شده اند. در نهایت مقادیر دز جذبی و دز مؤثر همراه با تغییراتی که عوامل مختلفی همچون نوع تالی، طیف واپاشی و مدل حرکت زیستی می تواند در این مقادیر ایجاد کند، توسط این مطالعه ارائه شده است.

۲. مواد و روش ها

۱.۲. دزسنجی داخلی

مقدار دز جذبی در اندام هدف $D(r_T)$ به صورت مجموع

حاصل ضرب زیر در واحد $Gy \cdot Bq^{-1}$ محاسبه می شود [۳]:

$$D(r_T) = \sum_{r_S} \tilde{a}(r_S) S(r_T \leftarrow r_S) \quad (1)$$

که در اینجا $\tilde{a}(r_S, T_D)$ پرتوزایی انباشته شده در اندام چشمه r_S در واحد (Bq.s) و $S(r_T \leftarrow r_S)$ میانگین دز جذب شده در اندام هدف به ازای یک واپاشی در اندام چشمه است $(GyBq^{-1}s^{-1})$.

۳،۲. مقادیر S

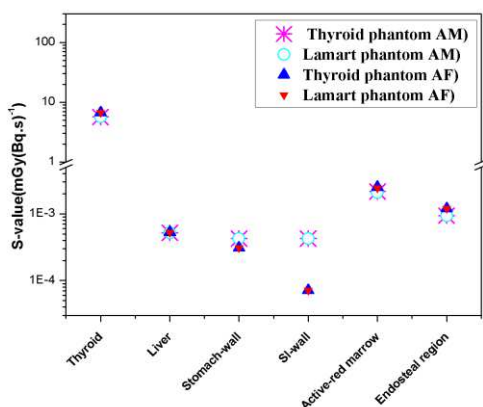
۳. نتایج

۱،۳. نتایج محاسبات مقادیر S

مقادیر S بدست آمده در این مطالعه برای چشمه های مختلف در برداشت ۳۰٪ تیروئید به ازای دریافت ید-۱۳۱ برای اندام-های مختلف برای دو فانتوم زن و مرد مرجع جهانی به دست آمده است. مقایسه نتایج در این مطالعه با نتایج به دست آمده توسط لامارت برای تیروئید در شکل ۳ نشان داده شده است [۶]. همان طور که انتظار می رود در هر دو فانتوم مرجع بیشترین مقدار S مربوط به تیروئید می باشد که برای فانتوم زن و مرد مرجع به ترتیب $6.6 \text{ mGy(Bq.s)}^{-1}$ و 5.6 است.

مقایسه بین نتایج نشان می دهد که هنگامی که از تالی F6 استفاده شده است، اختلاف بین داده ها با مقادیر اعلام شده توسط لامارت به طور میانگین در حدود ۸٪ است. اما با استفاده از تالی F8* اختلاف داده ها کمتر از ۱٪ می باشد.

استفاده از دو طیف مختلف نیز می تواند نتایج را تغییر دهد. البته این تغییر برای طیف واپاشی ید-۱۳۱ زیاد نیست و میانگین اختلاف داده های به دست آمده با استفاده از این دو طیف کمتر از ۱٪ درصد بدست آمده است.



شکل (۳). مقایسه مقادیر برای اندام های مختلف در برداشت تیروئید به ازای دریافت ید-۱۳۱ برای دو فانتوم زن و مرد مرجع با نتایج لامارت.

شکل ۴ مقایسه مقادیر S در این مطالعه با مقادیر ارایه شده توسط لامارت برای دو فانتوم زن و مرد مرجع جهانی برای دو مورد از اندام های بدن (تیروئید و روده بزرگ) نشان می دهد.

در این مطالعه، مقادیر S به طور مستقیم از محاسبات مونت کارلو بدست آمده است. این محاسبات به طور جداگانه برای فوتون و الکترون گسیلی از چشمه انجام شده است. تالی F6 برای فوتون ها و تالی F6+ برای الکترون ها استفاده شده است. همچنین تالی F8* نیز به منظور انجام مقایسه مورد استفاده قرار گرفته است. طیف الکترون ها و فوتون های گسیلی از ید-۱۳۱ از پایگاه ENSDF استخراج شده است طیف ذرات بتا نیز با استفاده از رابطه فرمی برآورد شده و در محاسبات وارد شده است. طیف معرفی شده در ICRP 107 نیز به منظور مقایسه در محاسبات وارد شده است. همان طور که در جدول ۱ درج شده است، در این طیف ذرات بتا با انرژی میانگین در نظر گرفته شده اند.

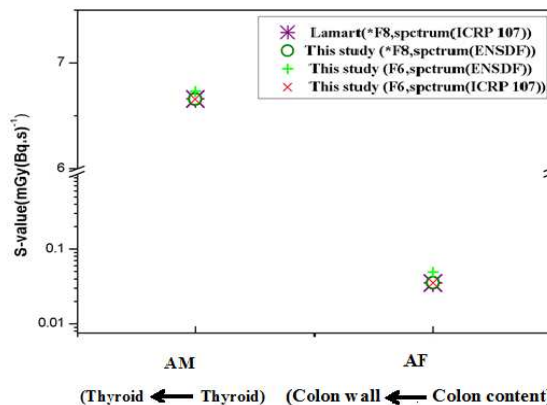
جدول (۱): انرژی و احتمال واپاشی اصلی فوتون (ایکس و گاما) و

الکترون (میانگین بتا) برای واپاشی ید-۱۳۱ [۷].

پرتوها	y(i) (Bq s) ⁻¹	E(i) (MeV)
پرتو ایکس $k_{\alpha 1}$	1.66×10^{-5}	7.63×10^{-1}
پرتو ایکس $k_{\alpha 2}$	2.95×10^{-2}	1.4×10^{-2}
پرتو ایکس $k_{\alpha 3}$	2.98×10^{-2}	2.59×10^{-2}
گاما-۱	8.02×10^{-1}	2.62×10^{-2}
گاما-۲	2.84×10^{-1}	6.14×10^{-2}
گاما-۳	3.64×10^{-1}	8.17×10^{-1}
گاما-۴	6.37×10^{-1}	7.17×10^{-2}
گاما-۵	7.23×10^{-1}	1.77×10^{-2}
بتا-۱	6.93×10^{-2}	2.09×10^{-2}
بتا-۲	9.66×10^{-2}	7.24×10^{-2}
بتا-۳	1.92×10^{-1}	8.95×10^{-1}

۳.۳. نتایج دز موثر

نتایج به دست آمده برای دز موثر بین فانتوم زن و مرد مرجع جهانی در جدول ۲ درج شده است. این مقادیر محاسبه شده در این جدول مقایسه دز موثر بین دو مدل مختلف قدیمی (۱۹۹۱) و مدل لگت (۲۰۱۷) را نشان می دهد. همان طور که از نتایج جدول مشخص است مقدار دز موثر در فانتوم زن نسبت به فانتوم مرد بیشتر است. مقدار دز موثر در مدل لگت (۲۰۱۷) برای فانتوم زن و مرد مرجع جهانی بیشتر از مدل قدیمی (۱۹۹۱) می باشد.



شکل (۴). مقایسه مقادیر S بدست آمده در این تحقیق و مقادیر ارایه شده توسط لامارت [۶]. برای دو فانتوم زن و مرد مرجع جهانی.

جدول ۲. مقایسه دز موثر بدست آمده در این تحقیق با مطالعات قبلی

(۱۹۹۱)

دز مؤثر (mSv/MBq) فانتوم زن		دز مؤثر (mSv/MBq) فانتوم مرد	
مدل	مدل	مدل	مدل
ICRP 56	Leggett	ICRP 56	Leggett
2.1×10^{-1}	2.6×10^{-1}	1.3×10^{-1}	1.7×10^{-1}

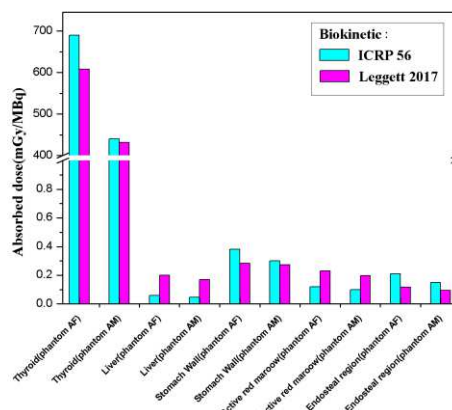
۲.۳. نتایج دزسنجی

دز جذبی اندام های هدف ناشی از ید دریافتی در برداشت ۳۰٪ تیروئید به دست آمده است. شکل ۵ مقایسه بین دو مدل مختلف قدیمی (۱۹۹۱) و مدل لگت (۲۰۱۷) برای دز جذبی تیروئید برای فانتوم زن و مرد مرجع جهانی را نشان می دهد. مقدار دز جذبی در اندام های فانتوم زن بیشتر از اندام های فانتوم مرد است. بیشترین مقدار دز جذبی مربوط به تیروئید می باشد. این مقدار دز جذبی برای فانتوم زن و مرد مرجع به ترتیب (mGy/MBq) ۶۰۸,۲ و ۴۳۱,۷ است. بیشترین اختلاف دز جذبی برای تیروئید در این دو مدل مختلف کمتر از ۱٪ است. اختلاف دز جذبی میان داده ها برای سایر اندام های بدن در هر دو مدل بیان شده بیشتر از ۱٪ محاسبه شده است.

۴. بحث و نتیجه گیری

۱.۴. محاسبات مقادیر S

در برداشت تیروئید بیشترین مقدار ید پرتوزائی وارد غده تیروئید می شود. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می کنیم مقدار S برای تیروئید نسبت به سایر اندام های هدف بیشتر است، زیرا سهم عمده دز تیروئید ناشی از خود جذبی است. از دلایل اختلاف بین داده های به دست آمده در این مطالعه با مطالعات قبلی توسط لامارت می توان به طیف استفاده شده برای الکترون و فوتون اشاره کرد. در این مطالعه برای محاسبه مقادیر S، طیف به دست آمده از الکترون ها و فوتون های گسیلی از هسته های پرتوزا به طور جداگانه با استفاده از رابطه فرمی و برنامه فرترن به کار برده شده است. اما در نتایج



شکل (۵). مقایسه دز جذبی تیروئید برای دو مدل مختلف قدیمی (۱۹۹۱) و مدل لگت (۲۰۱۷) برای دو فانتوم زن و مرد مرجع جهانی.

۳,۴. محاسبات دز موثر

نتایج به دست آمده از بخش قبلی نشان دهنده این بود که اندام‌های فانتوم زن دز جذبی بیشتری نسبت به فانتوم مرد دریافت می‌کنند. در نتیجه دز موثر برای فانتوم زن بیشتر از فانتوم مرد می‌باشد زیرا فانتوم زن معمولاً ابعاد کوچکتری دارد بدین معنا که فاصله میان اندام‌ها و جرم اندام‌ها کوچکتر است. نتیجه به دست آمده با توجه به مقایسه بین فانتوم زن و مرد از جدول ۱، صحت نتایج بیان شده در این تحقیق را تأیید می‌کند. مقدار دز موثر در مدل لگت (۲۰۱۷) نسبت به مدل قدیمی (۱۹۹۱) بیشتر است. همان طور که در بخش قبلی بیان شد این اختلاف مقدار دز موثر را در تفاوت بین دو مدل از لحاظ تعداد مولفه‌ها و بیان جزئیات بیشتر حرکت ید در مدل لگت (۲۰۱۷) بیان کرد. این مقایسه برای برآورد تفاوت بین دز موثر در دو مدل مختلف (مدل لگت و مدل قدیمی) ذکر شده است.

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه مقادیر S ناشی از ورود ید-۱۳۱ به بدن زن و مرد مرجع جهانی محاسبه و با مقادیر مطالعات پیشین مقایسه شده است. همچنین اثر تغییر تالی و طیف واپاشی ید-۱۳۱ در تخمین مقادیر S بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از تالی‌های مختلف می‌تواند میانگین اختلاف ۸٪ را در داده‌ها ایجاد کند. همچنین، اختلاف ناشی از به کار بردن طیف‌های مختلف در مقادیر S کمتر از ۱٪ بدست آمده است. از طرفی مقدار پرتوزایی انباشته در اندام‌های چشمه بوسیله دو مدل حرکت زیستی تخمین زده شده و در محاسبات دزسنجی وارد شده است. در نهایت دز جذبی و دز موثر برای فانتوم زن و مرد مرجع جهانی محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که اختلاف قابل ملاحظه‌ای در دز اندام‌هایی که به عنوان چشمه اصلی در مدل جدید مطرح هستند به وجود

لامارت از جدول ۱ برای واپاشی طیف بتا و فوتون استفاده شده است. در این جدول برای استفاده از مقادیر S، از تابش-های با احتمال واپاشی بزرگتر از ۲ درصد استفاده شده است. برای طیف‌های بتا و الکترون اوژه بر اساس میانگین انرژی تقریب زده شده است. با توجه به موارد ذکر شده در استفاده از طیف‌های بتا و فوتون، اختلاف بین نتایج را می‌توان بر این اساس توجیه کرد.

در فایل ورودی برنامه در این مطالعه برای فوتون‌ها F6 و الکترون‌ها از تالی F6+ استفاده شده است. به علاوه برای مقایسه نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی با مطالعه انجام شده توسط لامارت، تالی F8* نیز مربوط به انرژی جایگزیده در سلول است در نظر گرفته شده است. مقادیر به دست آمده در این تحقیق با استفاده از تالی F8*، در توافق خوبی با داده‌های لامارت هستند. شکل ۴ صحت این نتایج به دست آمده را با استفاده از این مقایسه تأیید می‌کند.

۲,۴. محاسبات دزسنجی

مقایسه دز جذبی برای تیروئید در برداشت ۳۰٪ برای فانتوم زن و مرد مرجع جهانی دو مدل مختلف قدیمی (۱۹۹۱) و مدل لگت (۲۰۱۷) در شکل ۵ نشان می‌دهد که اندام‌های فانتوم زن دز جذبی بیشتری نسبت به فانتوم مرد دریافت می‌کنند. نزدیک بودن مقادیر به دست آمده برای دز جذبی تیروئید در هر دو مدل با این مقایسه تأیید می‌شود. برای علت اختلاف دز جذبی در سایر اندام‌های بدن در دو مدل بیان شده، به تفاوت در تعداد مولفه‌ها می‌توان اشاره کرد و اینکه مدل لگت (۲۰۱۷) جزئیات بیشتری را برای حرکت ید در بدن نشان می‌دهد. یکی دیگر از این دلایل، تفکیک بهتر ید ارگانیک و غیر ارگانیک در مدل لگت (۲۰۱۷) را برای این اختلاف داده‌ها در نظر گرفت.

و مدل حرکت زیستی می‌توانند در مقدار نهایی دز ایجاد کنند را بررسی و ارائه کرده است. البته این عوامل تنها عوامل مؤثر بر مقدار دز نیستند، سایر عوامل مؤثر در پژوهش‌های آینده بررسی خواهند شد.

می‌آید. درحالی‌که قبلا با استفاده از مدل سال ۱۹۹۱، پرتوزایی سایر اندام‌ها به صورت یک‌نواخت در نظر گرفته می‌شد. به عنوان جمع‌بندی می‌توان اعلام کرد که این مطالعه مقدار تغییراتی که چندین عامل مختلف از جمله تالی، طیف واپاشی

۶. مراجع

- [1] Lamart, Stephanie, et al. "S values for 131-I based on the ICRP adult voxel phantoms "Radiation protection dosimetry 110-92:(2016) 161,1.
- [2] ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60 (Users Edition).
- [3] Bolch W E, Eckerman K F, Sgouros G, and Thomas S R. MIRD pamphlet no. 21: a generalized schema for radiopharmaceutical dosimetry—standardization of nomenclature. J Nucl Med 50(3) (2009) 477-484.
- [4] Leggett, Richard Wayne. "A physiological systems model for iodine for use in radiation protection." Radiation research 174.4 (2010): 496-516.
- [5] ICRP, 2009. Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39 (2).
- [6] Lamart S, Bouville A, Simon S L, Eckerman K F, Melo D, Lee C. (2011) Comparison of internal dosimetry factors for three classes of adult computational phantoms with emphasis on I-131 in the thyroid. Phys Med Biol 56, 7317–7335
- [7] ICRP, 2008. Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. Ann. ICRP 38 (3).interaction data for body tissues, with data disk, ICRU Report 46D, Bethesda-Maryland, USA, (1992).