محاسبه دز جذبی ناشی از بلع ید-۱۳۱ توسط بیمار مبتلا به سرطان تیروئید

INC29-1056

مهدی ارسی ، احداله عزتی

فیزیک هسته ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، ۵۱۶۶۶۱۶۴۷۱، تبریز- ایران

چکیده:

پزشکی هسته ای با بهره‌گیری از ویژگی پرتوزایی مواد رادیواکتیو و با علم به ویژگی های این مواد از جمله نیمه عمر، نوع پرتوهای گسیلی و ... در تشخیص و درمان انواع بیماری ها نقش موثری را ایفا می‌نماید. از انواع رادیونوکلئیدها هم در زمینه تصویر برداری و هم درمان بیماران استفاده می‌شود، ید-۱۳۱ یکی از پرکاربردترین رادیونوکلئید های شناخته شده است که شاخص ترین کاربرد آن در زمینه درمان بیماری‌های تیروئید است. گرچه تاکنون برای مقدار آستانه تجویز ید جهت درمان قطعی سرطان تیروئید پاسخ دقیقی به دست نیامده، اما از این رادیو دارو با توجه به استاندارد های پرتودرمانی در پزشکی هسته ای استفاده می‌گردد. در این تحقیق مقدار دز جذبی بیمار مبتلا به سرطان تیروئید با استفاده از کد MCNP شبیه و فانتوم میرد محاسبه شده است. مقدار اکتیویته تجویزی ۲۰۰ میلی کوری ید نشاندار شده به صورت قرص خوراکی یدورسدیم (NaI*) فرض شد. مقدار دز معادل موثر محاسبه شده در این پژوهش با مقدار ذکر شده در ICRP که معادل با ۱۶۲٫۸ سیورت می‌باشد حدود ۳ درصد اختلاف دارد. میزان دقیق دز اعمالی در پروسه درمان باید به صورت تخصصی توسط پزشک معالج با توجه به تصاویر تهیه شده از بدن بیمار و با در نظر گرفتن ویژگی های جسمی هر بیمار اعمال شود.

کلیدواژه‌ها: MCNP، MIRD، تیروئید، ید-۱۳۱، شبیه سازی، فانتوم، دز، ید درمانی

Calculation of absorbed dose in patients that swallowed I-131 for thyroid cancer treatment

Mahdi Arasi, Ahad Ollah Ezzati

Nuclear Physics, Faculty of Physics, Tabriz University, 5166616471, Tabriz- Iran

Abstract:

Nuclear medicine plays an effective role in the diagnosis and treatment of various diseases by taking advantage of the radioactivity of radioactive materials and knowing the properties of these materials, such as half-life, type of radiation, etc. A variety of radionuclides are used both in the imaging and treatment of patients, iodine-131 is one of the most widely used radionuclides, and its most significant usage is in the treatment of thyroid diseases. However, the threshold activity of I-131 for thyroid cancer is not estimated, but this radiopharmaceutical is used according to radiation therapy standards in nuclear medicine. In this research, the patient organs and effective doses were calculated by simulating the MIRD phantom in MCNP code. The administered activity assumed to be 200 millicuries of labeled iodine in the form of oral sodium iodide (NaI*) tablets. The amount of equivalent effective dose calculated in this study differs by about 3% from the amount mentioned in ICRP, which is equivalent to 162.8 Sievert. The exact amount of the dose for the treatment administered by the attending physician according to the images and physical characteristics of each patient.

Keywords: MCNP, MIRD, thyroid, I-131, simulation, phantom, dose, iodine therapy

۱. مقدمه

پزشکی‌هسته ای به عنوان شاخه ای از علم پزشکی است که با بهره گیری از ویژگیهای مواد رادیواکتیو کمک زیادی به تشخیص و یا درمان بیماران نموده است. از جمله کاربرد های این علم استفاده از I-131 برای درمان سرطان تیروئید است که به مقدار ید جذب شده وابسته است، هرچند پاسخ دقیق برای میزان آستانه تجویز ید-۱۳۱ تعیین نگردیده است اما آنچه هم اکنون در پزشکی هسته ای استفاده میگردد دزهای ۱۰۰-۲۰۰ میلی کوری و در شرایطی که پیشروی سرطان از حد معمول زیاد باشد با رعایت اصول پرتودرمانی ازدز های بالاتر استفاده میگردد. در پرتودرمانی چهار عامل موثر وجود دارد[1]:

۱- زمان
۲- محلی که دز به آن اعمال میشود
۳- تعداد سلول های تومور و غلظت
۴- نیمه عمر بیولوژیکی

ممکن است آزمایش‌ها روی سیستم واقعی عملیات سیستم را مختل نماید، ثابت نگه داشتن شرایط آزمایش برای هر بار تکرار یا اجرای آزمایش مشکل باشد، به دست آوردن حجم نمونه ای یکسان ممکن است به زمان و هزینه زیادی نیاز داشته باشد و یا انجام آزمایش در جهان واقعی امکان کاووش بسیاری از گزینه ها را فراهم نکند، شرایطی به وجود آید که امکان تجزیه تحلیل جبری میسر نباشد، سیستم ایجاد نشده باشد، مسئله به طور کامل بررسی و مطالعه نشده باشد، هدف فرمول شده ای وجود نداشته باشد، هیچ دیدی نسبت به جواب‌های مسئله نداشته باشیم و یا الگوی ورودی بی نظم باشد در چنین مواردی از شبیه سازی استفاده میشود.

در روش‌های پزشکی هسته ای اندازه گیری دزهای جذب شده به صورت مستقیم با استفاده از هر نوع ردیاب تابش تقریبا غیر ممکن است، در عوض با استفاده از انواع داده‌های فیزیکی و بیولوژیکی و معادلات ریاضی ویژه میزان دز محاسبه میشود. استفاده از کد ترابرد ذره با دانش آناتومی بیمار منجر به بهبودی قابل توجهی در صحت محاسبات دز میشود. با وجود اینکه روش MIRD یک روش موثر و سریع و مقرون به صرفه در دزیمتری اندام‌های داخلی است اما محدودیت‌های خاص خود را دارد که باید این موارد را نیز در نظر گرفت[2]. بیش از حد تجویز شده و یا کمتر از آن دز گرفتن بیمار در سالهای بعد خطر عود مجدد بیماری را به دنبال خواهد داشت، روشی که ما برای تحقیق از آن استفاده نموده ایم روش MIRD است که براساس مجموعه ای از معادلات دیفرانسیل میباشد و داده‌های توزیع بیولوژیکی را به هم مرتبط می کند[3].

در درمان سرطان تیروئید سر و گردن بیمار نیز در معرض برخی تابش ها قرار دارد که این موارد نیز باید در رادیو درمانی مد نظر قرار بگیرد تا از آسیب های بافتی جلوگیری نموده و به حداقل برساند، میزان مرگ‌ومیر ناشی از RAI[1] برای پرکاری تیروئید که بنابه تحقیقات به عمل آمده ۱۱۰ در هر میلیون است اهمیت این موضوع را بیشتر ملموس مینماید[4]. مقدار اکتیویته فرض شده در پژوهش انجام شده ۲۰۰ میلی کوری است، این کار درادامه سلسله مقالات عنوان شده توسط لگت[2] [5,6,7] در زمینه شبیه سازی سرطان تیروئید صورت گرفته است و هدف از این تحقیق محاسبه میزان دز جذبی بیمار برای ارزیابی خطرات و مزایای ید رادیواکتیو در درمان سرطان تیروئید میباشد. درمان سرطان تیروئید با ید رادیواکتیو (RIT)[3] نوعی رادیوتراپی داخلی است که طی آن ید رادیواکتیو در سراسر بدن توسط جریان خون به گردش در می آید، تابش گسیل شده از ید سلول‌های سرطانی را از بین می برد. سرطان تیروئید شایع ترین سرطان بدخیم در میان سرطان‌های غدد درون ریز و ناحیه سر و گردن می باشد که یک درصد از کل سرطان‌های انسانی را به خود اختصاص داده است و در سال‌های اخیر شیوع چشم گیری داشته است که چنین افزایشی به عوامل مختلفی مانند قرارگیری در

[1] Internal radiotherapy with radioactive iodine
[2] Leggett
[3] Radio iodine therapy

معرض پرتوها، کمبود ید و... نسبت داده میشود. سرطان تیروئید به چهار دسته فولیکولاری(FTC)[1]، پاپیلاری (PTC)[2]، آنا پلاستیک (ATC)[3] و مدولاری(MTC)[4] تقسیم می شود که سه مورد ابتدایی از فولیکولارتیروئید و سرطان MTC از سلول‌های پارا فولیکولار تیروئید مشتق می شوند[8].

۲. مواد و روش ها

انسان به طور طبیعی توانایی تشخیص پرتوهای ساطع شده از مواد رادیواکتیو را ندارد لذا برای تشخیص، آشکارسازی و اندازه گیری این پرتوها نیاز به ابزارآلات دزیمتری دارد. آنچه در دزیمتری مد نظر است تعیین میزان انرژی جذب شده در واحد جرم جسم یا ارگان مورد نظر است. دزیمتری در سه زمینه پرتودرمانی، پرتودهی مواد مختلف و حفاظت در برابر پرتوها اهمیت اساسی دارد. در این تحقیق هدف دزیمتری فردی میباشد که میزان دز دریافتی برای فرد در معرض تابش را بیان میکند، هدف از اینکار تعیین و کنترل میزان پرتوگیری فرد میباشد، تا حداقل پرتودهی به بیمار صورت گرفته و آسیب‌ها و خطرات بعدی را در پی نداشته باشد.

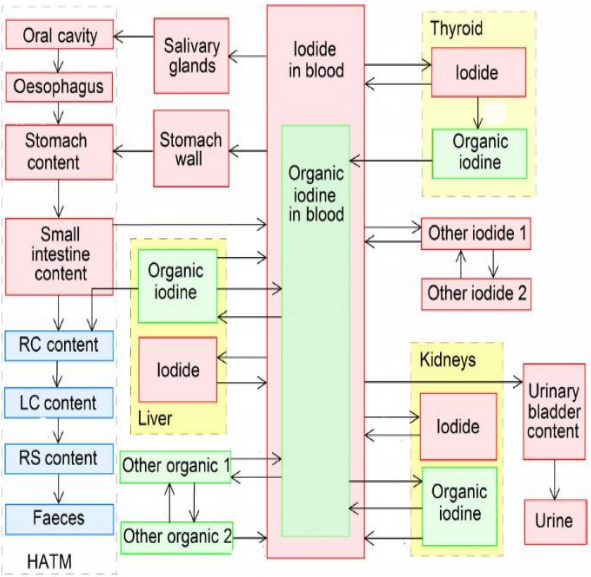
در این پژوهش با بهره گیری از مدل بیوسینتیک خون برای محاسبه نحوه انتشار ید رادیواکتیو بین ارگان های بدن بیمار و محاسبه سهم اکتیویته ارگان ها با توجه به نیمه عمر ید داخل هر ارگان و نحوه ارتباط ارگانها با یکدیگر توسط برنامه متلب معادلات مربوطه حل گردیده است و با نتایج ذکر شده در اسناد ICRP مقایسه شده است. سپس باتوجه به سهم اکتیویته دریافتی ارگان های مختلف و با استفاده از کد محاسباتی MCNP دز جذبی ناشی از ید-۱۳۱ برای تیروئید با جرم و اندازه معین محاسبه گردیده است. از فرمول زیر برای محاسبه اکتیویته ارگان ها استفاده شده است:

$$\frac{dA_j(t)}{dt} = (K_{jj} - \lambda)A_j + \sum_{i \neq j} K_{ij}\ A_i(t)$$

در فرمول بالا K_{jj} ثابت خروج رادیو دارو از ارگان مد نظر، λ ثابت فروپاشی خودبخودی رادیو دارو داخل ارگان، K_{ij} ثابت انتقال رادیو دارو از سایر ارگان ها به ارگان مد نظر، A_j اکتیویته ارگان مد نظر و A_i اکتیویته سایر ارگان های در ارتباط با ارگان مد نظر می‌باشند. شکل ۱ چرخه گردش خون داخل بدن را به صورت شماتیک نشان میدهد، اعداد روی فلش

[1] Follicular thyroid cancer
[2] Papillary Thyroid Cancer
[3] Anaplastic thyroid cancer
[4] Medullary thyroid cancer

ها مربوط به لاندا هایی هستند که طبق آنها رادیو داروی تجویزی بین ارگان‌ها پخش میگردد، مقادیر عددی لانداها در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱ مدل بیوسنتیک ید

مسیرها	ضریب انتقال (day^{-1})	مسیرها	ضریب انتقال (day^{-1})
خون ۱ به تیروئید ۱	۷,۲۷	خون ۱ به محتویات مثانه	۱۱,۸۳
خون ۱ به بزاق	۵,۲	خون ۱ به دیواره معده	۸,۶
خون ۱ به سایر ارگانها ۱	۶۰۰	خون ۱ به کلیه ۱	۲۵
خون ۱ به کبد ۱	۱۵	بزاق به حفره دهان	۵۰
دیواره معده به محتویات معده	۵۰	تیروئید ۱ به تیروئید۲	۹۵
تیروئید ۱ به خون ۱	۳۶	تیروئید ۲ به خون ۲	۰,۰۰۷۷
تیروئید ۲ به خون ۱	۰	سایر ارگانها ۱ به خون ۱	۳۳۱
سایر ارگانها ۱ به سایر ارگانها ۲	۳۵	سایر ارگانها ۲ به سایر ارگانها ۱	۵۶
کلیه ۱ به خون ۱	۱۰۰	خون ۲ به سایر ارگانها ۳	۱۵
سایر ارگانهای ۳ به خون ۲	۲۱	حفره دهان به مری	۷۲۰۰
مری به محتویات معده	۲۱۶۰	سایر ارگانها ۳ به سایر ارگانها ۴	۱,۲
سایر ارگانها ۴ به سایر ارگانها ۳	۰,۶۲	سایر ارگانها۴ به خون ۱	۰,۱۴
خون ۲ به کلیه ۲	۳,۶	کلیه ۲ به خون ۲	۲۱

۲۱	خون ۲ به کبد ۲	۰,۱۴	کلیه ۲ به خون ۱
۰,۱۴	کبد ۲ به خون ۱	۲۱	کبد ۲ به خون ۲
۲۰,۵۷	محتویات معده به محتویات روده کوچک	۰,۰۸	کبد ۲ به قسمت راست روده بزرگ
۵۹۵	محتویات روده کوچک به خون ۱	۶	محتویات روده کوچک به محتویات روده بزرگ
		۱۲	محتویات مثانه به ادرار

جدول ۱ مقدار عددی لانداها

غده تیروئید جلوی گردن، زیرگلو از مهره‌های تحتانی گردن تا مهره‌های اول قفسه سینه (T1) را شامل میشود. غده تیروئید از دو لوب تشکیل شده است که توسط بخش باریکی به نام تنگه تیروئید (اسیموس) به یکدیگر متصل هستند. غده تیروئید از تعدادی فولیکول حاوی مواد زرد رنگ و نیمه مایع به نام کلوئید ساخته شده است. تقریبا ۵ سانتی متر طول، ۳ سانتی متر عرض و۳۰ گرم وزن دارد. غده تیروئید به هندسه استوانه ای و کروی نزدیک تر است از این رو برای شبیه سازی از این دو هندسه استفاده میشود[9]. لوب های تیروئید به شکل بیضوی با چگالی ۱,۰۵ گرم در سانتی متر مکعب و نوع ماده تشکیل دهنده آن که همان ماده‌ی پیشنهادی توسط ICRP میباشد درنظر گرفته شده است. در ید درمانی به جای جرم کل تیروئید از روش‌های دقیق برآورد جرم فعال غده تیروئید استفاده میشود و برای محاسبه دز تجویزی جرم تیروئید مورد توجه قرار میگیرد زیرا دز جذبی به ازای یک واپاشی به جرم وابسته است. شکل و اندازه دقیق بافت تیروئید به روش سانتی گرافی مشخص میشود و حجم آن نیز از دو روش اکوگرافی وSPECT[1] تعیین میگردد. بهتر است برای برآورد جرم فعال تیروئید به جای روش‌های MRI[2]، اکوگرافی و تخمین لمسی از روش‌هایی مانند عکس برداری SPECT و سانتی گرافی استفاده شود که محاسبه جرم در محاسبه دز نیز موثر است[10]. میزان جذب انرژی اشعه I-131 را برای حجم مختلف لوب های تیروئید با استفاده از کد MCNP برای تمام پرتوهای بتا و گاما محاسبه شد و در این مطالعه از فانتوم MIRD برای تخمین دز جذبی در تیروئید استفاده گردید. در فانتوم گفته شده تمام اندام ها با اشکال هندسی (مانند استوانه‌ها، بیضوی ها، توری ها و ...) تعریف شده‌اند که با معادلات ریاضی مناسب توصیف میگردند. برای شبیه سازی مسئله با MCNP ، یک فایل ورودی که هندسه مسئله را توصیف می کند، مواد، چشمه و خروجی مورد نظر را از شبیه سازی مشخص می‌کند، تهیه شد و برای بررسی صحت داده های حاصل از پژوهش، آنها با داده های اسناد ICRP مقایسه شد. میزان انرژی جذب شده در هر ارگان به ازای یک تاریخچه از فرمول زیر محاسبه شد:

$$Q= (*F8 /m) \times 1.6\times 10^{-13}$$

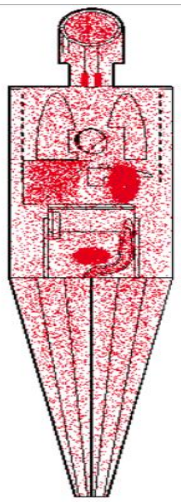
m جرم ارگان با واحد کیلوگرم، F8* تالی های محاسبه شده با واحد MeV و Q میزان انرژی رسیده به ارگان با واحد Gy میباشد.

۳. نتایج

برای محاسبه دز ارگانها نیاز به دانستن نحوه توزیع ماده رادیو اکتیو داخل بدن و محاسبه سهم اکتیویته هر ارگان ناشی از تجویز رادیو دارو داخل بدن میباشد. در این پژوهش برای درمان سرطان تیروئید، اکتیویته ۲۰۰ mci را برای تجویز

[1] SPECT
[2] Magnetic Resonance imaging

به صورت قرص یدورسدیم نشاندار (NaI*) در نظر گرفته ایم. برای محاسبه اکتیویته ارگان ها از مدل بیوسنتیک ید برای فرد میانسال که درICRP بیان گردیده استفاده شده است. کل اکتیویته داروی تجویزی که به صورت خوراکی است، از طریق معده به عنوان ورودی تعریف شده است و سپس با توجه به ورودی ها و خروجی های هر ارگان و معادلات حاکم برای توزیع ماده رادیو اکتیو بین ارگان ها میزان اکتیویته تجمعی در هر ارگان محاسبه شد، شکل ۲ توزیع ید را بصورت شماتیک در بدن بیمار نشان میدهد.



شکل ۲ نحوه توزیع رادیو دارو داخل فانتوم

برای به دست آوردن توزیع اکتیویته تجمعی ناشی از بلع ید-۱۳۱ توسط بیمار مبتلا به سرطان تیروئید از برنامه متلب استفاده شده است و ۲۵ معادله به صورت همزمان حل شده است. مقدار اکتیویته تجمعی ارگان ها و نیز نسبت اکتیویته تجمعی ارگان ها به اکتیویته تجویزی به ترتیب در جدول ۲و۳ آورده شده است:

جدول ۲ مقادیر اکتیویته تجمعی ارگان ها با واحد mci.h

ردیف	بخش‌های بدن	اکتیویته	ردیف	بخش‌های بدن	اکتیویته
۱	خون ۱	۱۱/۲۵	۱۴	دیواره معده	۱/۹۳
۲	خون ۲	۶/۸۵	۱۵	محتویات معده	۱۷/۱۷
۳	تیروئید ۱	۰/۶۲	۱۶	روده کوچک	۰/۵۸
۴	تیروئید ۲	۶۳۲/۹۷	۱۷	RC[1]	۱/۰۱
۵	کبد ۱	۱/۶۸	۱۸	مدفوع	۴۱/۶۹
۶	کبد ۲	۶/۷۵	۱۹	محتویات مثانه	۱۱/۰۱
۷	کلیه ۱	۲/۸۱	۲۰	ادرار	۱۵۳۶/۹
۸	کلیه ۲	۱/۱۶	۲۱	کلیه ۳	۰/۴۶
۹	سایر ارگانها[3] ۱	۲۰/۳۹	۲۲	LC[2]	۰/۹۶

[1] Right colon content
[2] Left colon content
[3] Other

۱۰	سایر ارگانها ۲	۱۲/۷۲	۲۳	RS[1]	۰/۹۲
۱۱	سایر ارگانها ۳	۴/۸۰	۲۴	حفره دهان	۰/۰۰۸
۱۲	سایر ارگانها ۴	۶/۸۱	۲۵	مری	۰/۰۲
۱۳	بزاق	۱/۱۶			

جدول ۳ مقادیر $\frac{\tilde{A}}{A_0}$ بر حسب h

نام ارگان	$\frac{\tilde{A}}{A_0}$ (ICRP)	$\frac{\tilde{A}}{A_0}$(محاسبه شده)
خون	۲/۲	۲/۱۷
تیروئید	۷۶	۷۶/۰۳
کبد	۱	۱/۰۱
کلیه	۰/۵۳	۰/۵۳
دیگر اعضا	۵/۴	۵/۳۶
بزاق	۰/۱۴	۰/۱۴
دیواره معده	۰/۲۳	۰/۲۳
محتویات معده	۲/۱	۲/۰۶
محتویات روده کوچک	۰/۰۷	۰/۰۷
محتویات روده بزرگ	۰/۳۴	۰/۳۴
محتویات مثانه	۱/۲	۱/۳۲

داده های به دست آمده برای اکتیویته ارگان ها بسیار نزدیک به داده های ارائه شده در ICRP میباشند.

یکای دز موثر سیورت نام دارد و با علامت اختصاری Sv نشان داده میشود که در مباحث حفاظت در مقابل تابش، طراحی‌های مهندسی و موارد تجویزی و حقوقی به کار میرود، دز معادل به صورت زیر تعریف میشود[11].

$$H = D * QF * DF$$

در معادله بالا QF ضریب کیفیت و DF ضریب توزیع نایکنواخت میباشد که فقط درمورد استخوان خواه ها کاربرد دارد. مقدار دز محاسبه شده برای ارگان ها برحسب واحد گری در جدول ۴ شده است:

جدول ۴ مقادیر دز ارگان ها با واحد Gy

نام ارگان	دز محاسبه شده	دز ICRP	درصد اختلاف*
آدرنال	۰/۴۱۵	۰/۴۰۷	۱/۹۶
مغز	۰/۹۴۲	۰/۹۶۲	۰/۰۲
دیواره کیسه صفرا	۰/۳۶۳	۰/۳۴۰۴	۶/۶
دیواره معده	۵/۲۸۶	۵/۲۵۴	۰/۶
دیوار روده کوچک	۰/۲۴۹	۰/۲۳۶۸	۵/۱۵
دیواره روده بزرگ	۱/۰۲۶	۱/۰۳۶	۰/۹
دیواره قلب	۰/۴۷	۰/۷۴	۵۷/۴
کلیه	۱/۹۵۹	۱/۹۹۸	۱/۹

[1] Rectosigmoid colon content

کبد	۰/۸۹۰	۰/۸۸۸	۰/۲
ریه	۰/۹۷۹	۰/۹۶۲	۱/۷
مری	۱/۳۳۰	۱/۰۳۶	۲۲/۱
پانکراس	۰/۴۸۳۵	۰/۴۸۸۴	۱
بزاق	۲/۲۴	۱/۴۰۶	۳۷/۲
پوست	۰/۵۲۹۴	۰/۴۲۱۸	۲۵/۵
طحال	۰/۵۱۱	۰/۵۱۸	۱/۳۶
بیضه ها	۰/۱۷۶۸	۰/۱۷۰۲	۳/۸
تیموس	۰/۹۷۰	۱/۰۳۶	۶/۳
تیروئید	۳۳۱۸/۹۷	۳۱۸۲	۴/۳
دیواره مثانه	۲/۹۲۳	۲/۸۸۶	۱/۲

*اختلاف دز محاسبه شده با دز گزارش شده توسط ICRP تقسیم بر دز گزارش شده ICRP ضربدر ۱۰۰

برای تعیین استانداردهای ایمنی تابش احتمال رخ داد آثار تصادفی در هر بافت را با دز معادل آن بافت متناسب فرض می کنیم. ولی از آنجایی که میزان حساسیت بافت‌های متفاوت در مقابل تابش یکسان نیست ضریب تناسب متفاوتی دارند و این باعث می شود که هر اندام یا بافتی در مقابل آثار تصادفی ناشی از پرتودهی میزان آسیب پذیری متفاوتی را داشته باشد. اگر دز تابش در کل بدن به صورت یکنواخت باشد ضریب خطر کل برابر یک میشود، اما برای محاسبه دز موثر تابشی که به صورت غیر یکنواخت است مثل پرتو گیری ناشی از میدان تابشی خارجی و یا پرتوگیری داخلی که در آن سهم هر ارگان متفاوت میباشد، از یک ضریبی به نام ضریب وزنی بافت (مقادیر آن برای ارگان‌های مختلف بدن در جدول ۵ بیان شده است) استفاده می گردد که متناسب با پذیرفتاری نسبی اندام‌ها در مقابل آثار تصادفی هستند[11]. فرمول محاسبه دز موثر به صورت زیر است که در آن W_T ضریب وزنی هر بافت و H_T دز معادل آن بافت است و اندیس T برای نشان دادن بافت‌های گوناگون به کار میرود[11].

$$H_E = \Sigma w_T H_T$$

جدول ۵ مقادیر ضریب وزنی ارگان ها

بافت	W_T	$\sum W_T$
مغز قرمزاستخوان، روده بزرگ، شش، معده، سایر بافت ها	0.12	0.6
پستان، غدد جنسی	0.08	0.16
صفرا، کبد، تیروئید، مری	0.05	0.2
سطح استخوان، مغز، غدد بزاقی، پوست	0.01	0.04

۴. نتیجه‌گیری

مقدار دز موثر محاسبه شده در این پژوهش با مقدار گزارش شده در ICRP که معادل با ۲۲ $\frac{mSv}{MBq}$ میباشد حدود ۳ درصد اختلاف دارد که این نشان دهنده صحت نتایج میباشد.

جدول ۶ مقدار دز موثر محاسبه شده

اختلاف شبیه سازی و داده های ICRP	محاسبه شده (mSv/MBq)	ICRP (mSv/MBq)
٪ ۳/۰۴*	۲۲,۶۷	۲۲

*اختلاف دز موثر محاسبه شده با دز گزارش شده توسط ICRPتقسیم بر دز گزارش شده ICRP ضربدر ۱۰۰

طبق داده های به دست آمده از این پژوهش و مقایسه آنها با داده های ارائه شده در اسناد ICRP میزان دقت و صحت محاسبات تایید می‌شود، بنابراین میتوان گفت درمان سرطان تیروئید از طریق بلع رادیو داروی NaI* با مقدار اکتیویته ۲۰۰ میلی کوری میتواند با اعمال حداقل دز به سایر بافت های بدن موجب درمان سرطان تیروئید میشود و از لحاظ ایمنی پرتودرمانی مشکلی به وجود نخواهد آمد. طبق محاسبات انجام شده بیشترین دز جذبی مربوط به تیروئید با مقدار ۳۳۱۸/۹۷ گری و کمترین دز جذبی مربوط به بیضه ها با مقدار ۰/۱۷۶۸ گری می‌باشد. بعد از تیروئید به ترتیب دیواره معده، دیواره مثانه، بزاق، کلیه، مری با ۵/۲۸۶، ۲/۹۲۳، ۲/۲۴، ۱/۹۵۹و ۱/۳۳ گری دارای بیشترین دزجذبی می-باشند. اما ناگفته نماند که میزان دقیق و نیز انتخاب روش درمان و دز اعمالی در پروسه درمان به صورت تخصصی توسط پزشک معالج با توجه به تصاویر تهیه شده از بدن بیمار و با در نظر گرفتن ویژگی های جسمی هر بیمار بایستی اعمال شود.

مراجع

1- Antunes, M. E., et al. "COMPUTATIONAL SIMULATIONS OF A MATHEMATICAL MODEL APPLIED TO METASTATIC PAPILLARY THYROID CANCER."
2- Shahbazi-Gahrouei, D. and S. Ayat (2015). "Determination of organ doses in radioiodine therapy using Monte Carlo simulation." World journal of nuclear medicine **14**(1): 16.
3- Rahman, Z., et al. "Influence of thyroid volume reduction on absorbed dose in I-131 therapy, using Geant4 Monte Carlo simulation."
4- La Cour, J. L., et al. (2013). "Modeling the absorbed dose to the common carotid arteries following radioiodine treatment of benign thyroid disease." Annals of nuclear medicine 27(9): 862-866.
5- Leggett, R.W., 2010. A physiological systems model for iodine for use in radiation protection. Radiat. Res. 174, 496–516.
6- Leggett, R.W., 2015. An age-specific biokinetic model for iodine. To be published. MIRD, 1975. MIRD/Dose Estimate Report No. 7. Summary of current radiation dose estimates to humans from 123I, 124I, 126I, 130I, and 131I as sodium rose bengal. J. Nucl. Med. 16, 1214–1217.
7- Leggett, R. (2017). "An age-specific biokinetic model for iodine." Journal of Radiological Protection **37**(4): 864.
8- نزهت " .(2017) et al. , متابولومیک و سرطان تیروئید: رویکردی نوین در کشف زیست نشانگرها." مجله ی غدد درون ریز و متابولیسم ایران **۱۹** (۳ :) ۱۳۳ - ۱۴۳. (In Persian)
9- Oktajianto, H. and E. Setiawati (2016). "Monte Carlo simulation in internal radiotherapy of thyroid cancer." International Journal of Engineering Technologies and Management Research **3**(9): 16-24.
10- Mowlavi, A. and A. Binesh (2006). "The Calculation of Absorbed Dose from 131I Radioactive Source in Thyroid Using MCNP Code for Spherical and Cylindrical Fields." Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences **5**(1): 7-10.
11- Evans, H. (1969). Introduction to health physics (international series of monographs in nuclear energy, vol. 105) Edited by H. Cember, Pergamon Press, Oxford, 1969. 422 pp.£ 6.), Perga