

## دوز جذبی بتا و گامای ید ۱۳۱ در تیروئید کروی و استوانه‌ای با استفاده از کد فلوکا و

### مقایسه با نتایج کد MCNPX

سحر زنگنه<sup>۱\*</sup>، محمدهادی هادی‌زاده<sup>۲</sup>، علی اصغر مولوی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه پیام نور فریمان گروه فیزیک

<sup>۲</sup>دانشگاه فردوسی گروه فیزیک

<sup>۳</sup>دانشگاه حکیم سبزواری گروه فیزیک

#### چکیده

ید ۱۳۱ به طور گسترده در درمان پرکاری و سرطان تیروئید به کار می‌رود که شاید موفق‌ترین نوع درمان در مقایسه با سایر داروها باشد. هدف اصلی در درمان با پرتو این است که تومور حداکثر دوزکشنده را به صورت یکنواخت، و بافت‌های سالم اطراف، کمترین مقدار ممکن را دریافت کنند. بدین سبب، تعیین دوز جذبی ید در تیروئید ارزشمند است. در این پژوهش، به کمک روش مونت کارلو و کد محاسباتی فلوکا مقدار دوز جذبی به ازای یک واپاشی در هر لوب تیروئید (کروی و استوانه‌ای) محاسبه و سپس این نتایج با نتایج حاصل از کد MCNPX مقایسه شده است. نتایج با یکدیگر همخوانی داشتند و کد فلوکا می‌تواند با دقت قابل قبولی نتایج را به دست دهد.

کلید واژه‌ها: ید ۱۳۱، دوز جذبی، کد فلوکا، تیروئید

#### مقدمه

ید درمانی به صورت خوراکی، روشی پذیرفته شده برای درمان تیروئید خوش‌خیم و بدخیم از سال ۱۳۱۹/۱۹۴۰ بوده است [۱]. واپاشی ۱۰ درصدی رادیوایزوتوپ ید ۱۳۱ از طریق گسیل گاما آنرا به هسته مطلوبی برای عکسبرداری از تیروئید تبدیل کرده است، با این مزیت که ۹۰ درصد دیگر واپاشی آن، که با گسیل بتا همراه است، جنبه درمانی آنرا هم برجسته می‌سازد [۲]. امروزه از ید پرتوزا در تشخیص و درمان پرکاری و سرطان تیروئید در بسیاری از مراکز پزشکی هسته‌ای استفاده می‌شود و تلاش‌های زیادی برای بهبود آن انجام شده است [۳]. از آنجاکه دوز پرتو رسیده از هسته‌های رادیواکتیوی که وارد بدن انسان شده‌اند نمی‌تواند به طور مستقیم اندازه‌گیری شود. ایجاد و ارائه روش‌هایی به منظور محاسبه دوز در نقاط مختلف و به منظور طراحی درمان در براکی‌تراپی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۴]. یکی از روش‌هایی که استفاده از آن در محاسبات دوزیمتری در رادیوتراپی رو به گسترش است، روش مونت کارلو می‌باشد که در ۵۰ سال اخیر به

فناوری جالب توجهی در فیزیک پزشکی تبدیل شده است [۳]. کد فلوکا یک ابزار با هدف جامع برای محاسبات تراپرد ذرات و اندرکنش با مواد، شامل یک حیظه گسترده از کاربردها از جمله دوزیمتری، هادرونترایی، رادیوبیولوژی و غیره است. تاکنون فلوکا به طور گسترده در فیزیک ذرات پرنرژی، طراحی شتابدهنده‌ها، حفاظت در برابر پرتوها، مطالعات بالینی و هادرون‌ترایی کاربرد داشته است، اما برای اهداف فیزیک پزشکی استفاده زیادی از آن نشده است، هرچند استحکام الگوریتم آن، هم برای ذرات انرژي پایین و هم برای ذرات انرژي بالا و امکان استفاده از آن در عکس برداری پزشکی، آنرا برای استفاده گسترده در دوزیمتری داخلی مناسب می‌سازد [۵].

## روش کار

در این پژوهش با استفاده از انرژي میانگین طیف گاما و بتای رادیوایزوتوپ ید ۱۳۱، ورودی مناسب برای کد فلوکا با در نظر گرفتن لوب تیروئید یک بار به صورت کروی و یک بار به صورت استوانه‌ای نوشته شده است. از آنجاییکه ید پس از ورود به بدن در تیروئید جذب می‌شود، در واقع، اندام چشمه، تیروئید است، و چون دوز جذبی نیز باید در تیروئید محاسبه شود، اندام هدف نیز خواهد بود. تیروئید بافتی نرم با چگالی  $1/04 \text{ g/cm}^3$  با گستره جرمی بین ۵ تا ۷۰ گرم در نظر گرفته شده است. با استفاده از شبیه سازی توسط کد فلوکا انرژي جذبی حاصل از یک واپاشی را در اندام هدف به دست آورده و سپس با استفاده از معادله زیر دوز جذبی را محاسبه کرده ایم:

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm} \quad (1)$$

دوز جذبی ( $D$ ) در فیزیک پزشکی، کمیتی است برای محاسبه دوزیمتری درونی، و بنا به تعریف، عبارت است از انرژي جذب شده از پرتو بر واحد جرم ماده جذب کننده [۷]. یکای SI دوز جذبی، گری است که همان ژول بر کیلوگرم می‌باشد.

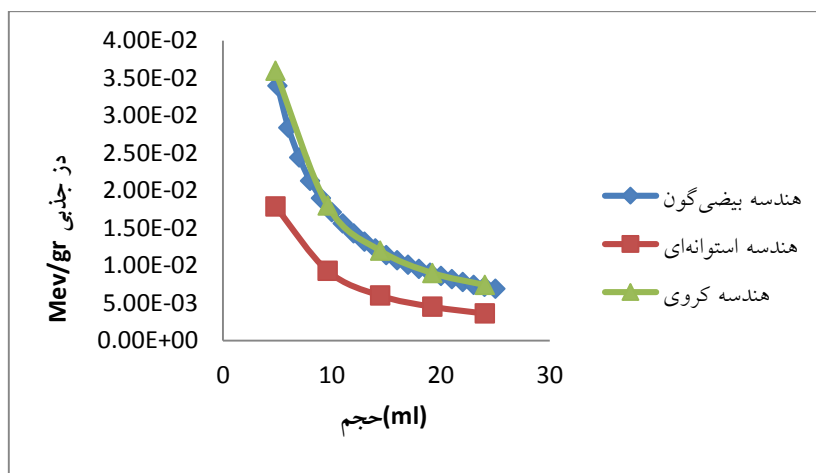
برای مقایسه نتایج نسبت به داده‌های به دست آمده از کد MCNPX در پژوهش‌های پیشین، کسر جذبی گاما محاسبه شده است. کمیت دوز پزشکی تابش داخلی ( $MIRD: \text{Medical Internal Radiation Dose}$ ) روشی ارائه داده است که به کمک آن می‌توان دوز جذب شده را در اندام هدف و اندام چشمه که ایزوتوپ پرتوزا در آن به طور یکنواخت توزیع شده است به دست آورد. این روش مبتنی بر کسر جذبی است. کسر جذبی  $\Phi$  به عنوان بخشی از انرژي گسیل شده از چشمه که در هدف جذب می‌شود تعریف شده است [۶].

$$\Phi = \frac{\text{انرژی جذب شده در هدف}}{\text{انرژی گسیل شده از چشمه}} \quad (2)$$

کسر جذبی گاما برای دو هندسه کروی و استوانه‌ای محاسبه و با نتایج MCNPX برای این دو هندسه مقایسه شده است.

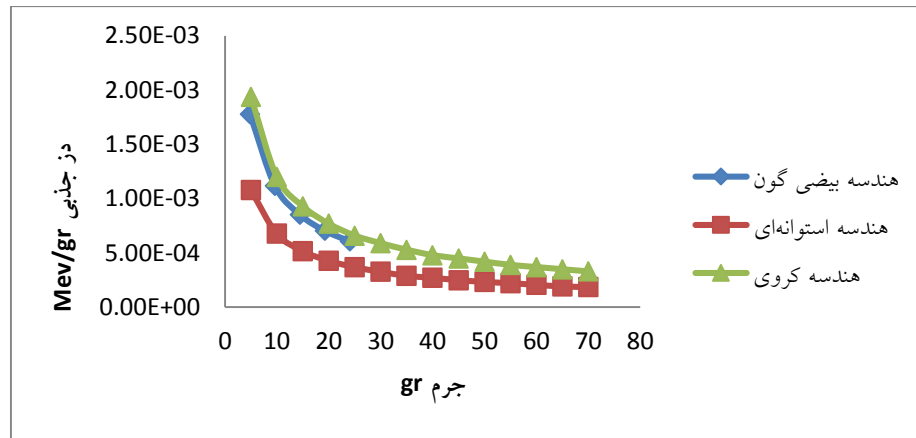
## نتایج

با استفاده از کد فلوکا برای هندسه کروی تیروید و هم چنین برای هندسه استوانه‌ای آن با ارتفاع دو برابر قطر قاعده، با محدوده جرم ۵ تا ۷۰ گرم، مقدار انرژی جذب شده در ارگان هدف (تیروید) ناشی از پرتو گامای ۱۳۱ید با انرژی ۳۷۰ keV را به دست آورده و به کمک فرمول ۱ دوز جذبی را محاسبه نمودیم. سپس همین روش را برای پرتو بتا با انرژی ۱۸۲ keV به کار بردیم. وابستگی دوز جذبی بتا به حجم در دو هندسه کروی و استوانه‌ای استخراج و در نمودار شکل ۱ ترسیم و با نمودار به دست آمده توسط میرزایی و همکاران، با در نظر گرفتن تیروید به صورت بیضی گون با چگالی  $1/04 \text{ g/cm}^3$  در کد MCNPX مقایسه شده است [۳].



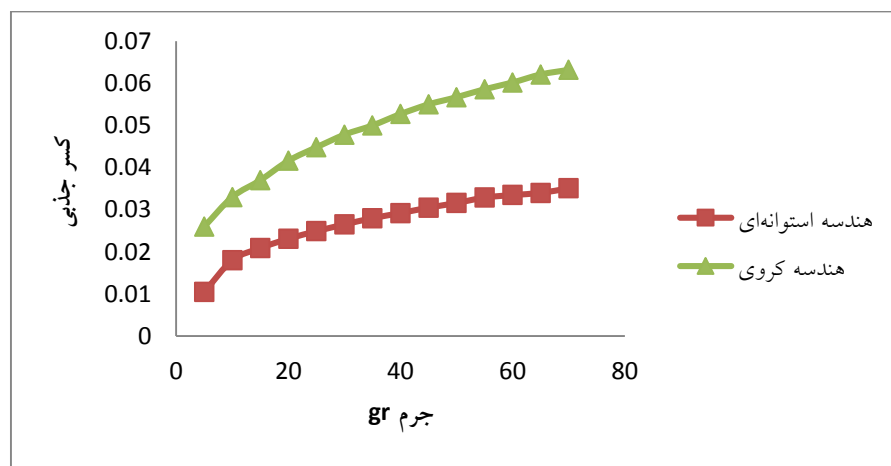
شکل ۱: نمودار دوز جذبی بتا در تیروید (داده های نمودار مربوط به بیضی گون از مرجع ۳ است).

وابستگی دوز جذبی گاما به جرم برای هندسه‌های استوانه‌ای و کروی که با استفاده از کد فلوکا به دست آمده است با نتایج حاصل از کار میرزایی و همکاران، با در نظر گرفتن تیروید به صورت بیضی گون در کد MCNPX نیز در نمودار ۲ رسم شده است [۳].



شکل ۲: نمودار دوز جذبی گاما در تیروئید (داده های نمودار مربوط به بیضی گون از مرجع ۳ است).

کسر جذبی پرتو گامای جذب شده در دو هندسه کروی و استوانه‌ای نیز با یکدیگر مقایسه و با نتایج حاصل از این مقایسه در کد *MCNPX* توسط مولوی و همکاران [۶]، و نتایج حاصل از کد *MCNP-4A* توسط حداد و همکاران قابل مقایسه است [۸]. در تمام محاسبات انجام شده در این پژوهش، خطای نسبی کمتر از ۰/۱٪ است.



شکل ۳: نمودار کسر جذبی گاما در تیروئید.

### بحث و نتیجه گیری

همان طور که از شکل ۱ مشخص است، دوز جذبی بتا که با کد فلوکا محاسبه شده است برای هندسه کروی بیشترین مقدار و برای هندسه استوانه‌ای کمترین مقدار را به دست می‌دهد. دوز جذبی هندسه بیضی گون

محاسبه شده توسط کد *MCNPX* نیز بین این دو و نزدیک به کروی است. این نتیجه با نتایج حاصل از پژوهش میرزایی و همکاران که با کد *MCNPX* اجرا شده است همخوانی دارد. در شکل ۲ دوزهای جذبی گاما برای هندسه‌های کروی و استوانه‌ای به دست آمده از کد فلوکا و بیضی‌گون حاصل از کد *MCNPX* مقایسه شده است. واضح است که کد فلوکا در اندازه‌گیری دوز گاما نیز همخوانی خوبی با نتایج حاصل از *MCNPX* دارد که نشانی از توانایی مطلوب فلوکا برای شبیه‌سازی حتی در انرژی‌های پایین است.

در محاسبه دوز تجویزی برای درمان پرکاری و سرطان تیروئید، تغییرات دوز جذبی برحسب جرم تیروئید با یاد مورد توجه قرارگیرد؛ چون با توجه به نمودار ۳ کسر جذبی به ازای یک واپاشی به جرم تیروئید وابسته است و اگر جرم تیروئید از ۲۰ تا ۷۰ گرم تغییر کند؛ کسر جذبی در هر دو هندسه ۵/۱۹٪ افزایش می‌یابد. تغییرات کسر جذبی در هندسه کروی و در هندسه استوانه‌ای با نتایج گرفته شده حاصل از کار مولوی و همکاران با استفاده از کد [*MCNPX*] و نتایج حاصل از پژوهش حداد و همکاران با استفاده از کد *MCNP-4A* برای تیروئید با هندسه بیضی‌گون و جرم ۲۰ گرم مشابه است [۸].

## مراجع

- [۱] Siegel E., The Beginnings of Radioiodine Therapy of Metastatic Thyroid Carcinoma: A Memoir of Samuel M. Seidlin, M. D. (۱۸۹۵-۱۹۵۵) and His Celebrated Patient, Cancer. Biother. Radiopharm, ۱۴(۲), ۷۱-۷۹, ۱۹۹۹.
- [۲] Rogers D. W. O., Fifty years of Monte Carlo simulations for medical Physics, Phys. Med. Biol. ۵۱, ۲۸۷-۳۰۱, ۲۰۰۶.
- [۳] Mirzaie M., Mowlavi A.A., Mohammadi S., Mirshekarpour H., Absorbed dose calculation from beta and gamma rays of  $^{131}\text{I}$  in ellipsoidal thyroid and other organs of neck with MCNPX code, Iranian. South. Med. J., ۲۰۱۲, ۲۰۱-۲۰۷.
- [۴] Khan F.M., The physics of radiation therapy, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, ۲۰۰۳.
- [۵] Botta F., Mairani A., Battistoni G., Cremonesi M., Di Dia A., Fasso A., Ferrari A., Ferrari M., Paganelli G., Pedroli G., Valente M., Calculation of electron and isotopes dose point kernels with FLUKA Monte Carlo code for dosimetry in nuclear medicine therapy, Med. Phys. ۳۸ (۷), ۳۹۴۴-۳۹۵۴, ۲۰۱۱.
- [۶] Mowlavi A.A., Binesh A.R., The Calculation of Absorbed Dose from  $^{131}\text{I}$  Radioactive Source in Thyroid Using MCNP Code for Spherical and Cylindrical Fields, J.R.U.M.S., ۵ (۱), ۷-۱۰, ۲۰۰۶.
- [۷] Stabin M. G., Internal Radiation Dosimetry in Nuclear Medicine, Mosby-Year Book, St. Louis, ۱۹۹۶.
- [۸] Haddad K., Alavi M., Gorji Y., Determination of absorbed ratio in  $^{131}\text{I}$  dosimetry using MCNP-4A, Iran. J. Nucl. Med., ۱۱(۲), ۱-۶, ۲۰۰۳.