

## بر آورد دُز جذبی ناشی از جیوه جذب شده در کلیه‌ها به روش MIRD و مقایسه با کد

### مونت کارلوی MCNP

علی داوری\*، ابوالفضل موسی زاده

۱ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد قاینات، گروه فیزیک

۲ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور، گروه فیزیک

### چکیده

امروزه در روش‌های نوین درمان سرطان‌ها و تسکین دردها، به‌طور وسیعی از رادیوداروها استفاده می‌شود از میان روش‌های گوناگون دزسنجی روش نوینی که در ایران کمتر مورد توجه بوده، روش MIRD است. در این پژوهش به بررسی نحوه محاسبه دُز در روش MIRD پرداخته شده و براساس این روش و کد MCNP، دزسنجی جیوهی جذب شده در کلیه‌ها انجام گرفته است. نتایج دزسنجی روش MIRD برای شش گروه سنی مختلف، در کنار نتایج دزسنجی کد MCNP، به‌صورت مقایسه‌ای برای چهار عضو هدف شامل کلیه‌ها، ریه‌ها، کبد و قلب آورده شده است.

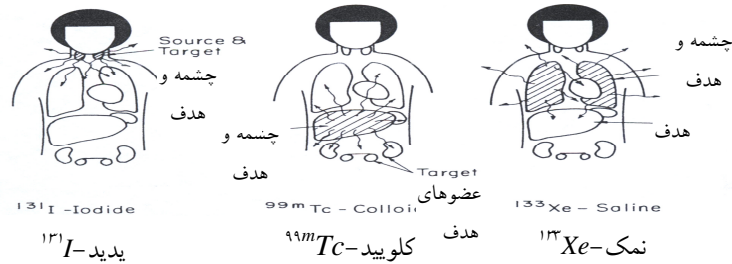
کلمات کلیدی: دزیمتری، رادیوداروها، کلیه‌ها، روش MIRD

### ۱-مقدمه

پرتوپزشکی شاخه‌ای از پزشکی است که از خواص رادیوایزوتوپ‌ها در تشخیص و درمان امراض استفاده می‌کند. این روش می‌تواند از طریق تابش مستقیم از بیرون بدن، یا به‌وسیله کاشت چشمه‌های تابشی کوچک در بافت مورد نظر، و یا از طریق تزریق یک رادیودارو به شخص انجام شود [۱]. رادیودارو یا داروی نشاندار هسته‌ای یک رادیوایزوتوپ است که به یک ترکیب شیمیایی خاص پیوندخورده و این ویژگی را دارد که پس از تزریق، در عضو یا عضوهای خاصی از بدن جذب می‌شود. در فرآیند پرتودرمانی؛ به هنگام عبور تابش از بافت مقدار معینی انرژی به سلول‌ها داده شده و اتم‌های آن‌ها یونیزه می‌شوند و این باعث نابودی سلول‌ها می‌شود. هدف اصلی پرتودرمانی رساندن حداکثر دُز تابشی به سلول‌های تومور و کمترین دُز به سایر سلول‌ها می‌باشد [۲]، پس باید به‌طریقی قبل از دادن یک رادیودارو به بیمار، دُزی را که عضوهای مختلف بدن جذب می‌کنند، محاسبه کرد.

### ۱-۱ روش دُزسنجی MIRD

به‌طورکلی به عضوی که دربردارنده‌ی رادیودارو است چشمه می‌گویند و عضوهای دیگری که قرار است برایشان دُز جذبی محاسبه شود هدف نامیده می‌شوند شکل (۱). همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، دُز تابشی رسیده به عضوهای هدف، به شکل و موقعیت ارگان‌های چشمه و هدف و نیز نوع و انرژی ذرات منتشر شده توسط رادیودارو بستگی دارد [۳].



شکل ۱: عضوهای چشمه و هدف برای رادیوداروهای مختلف.

اساس کار روش *MIRD* برای محاسبه دُز جذبی مبتنی بر روش مونت کارلو است. با توجه به طبیعت کاتوره‌ای برهم کنش‌های هسته‌ای، شبیه‌سازی مونت کارلو بسیار نزدیک به واقعیت است. به این ترتیب در این روش تاریخچه‌ی تعداد زیادی از ذرات شبیه‌سازی شده و مقدار میانگین رفتار آن‌ها در سیستم محاسبه می‌گردد [۴]. در روش *MIRD* از کسرهای جذبی و مقادیر *S* برای محاسبه‌ی دُز استفاده می‌شود و معمولاً دُز جذبی میانگین بر واحد اکتیویته تزریق شده، حساب می‌شود، به این صورت که:

$$D \square / A_0 = \tau S \quad (1)$$

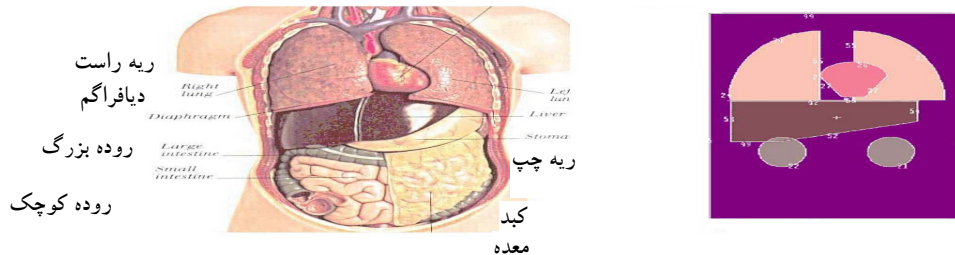
که  $D \square$  دُز جذبی میانگین،  $A_0$  اکتیویته داده شده،  $\tau$  زمان اقامت و  $S$  دُز جذبی میانگین بر واحد اکتیویته انباشته می‌باشد. همان‌طور که اشاره شد معمولاً دُز جذبی بر واحد اکتیویته داده شده را حساب می‌کنند که با خلاصه نویسی و استفاده از زمان اقامت به صورت تقسیم اکتیویته انباشته بر اکتیویته داده شده، به معادله‌ی پایه روبرو در روش *MIRD* می‌رسیم  $\tau = \bar{A} / A_0$  اقامت کمیته است که به نیمه عمر فیزیکی و نیمه عمر بیولوژیکی رادیودارو وابسته است. این کمیت را می‌توان با تصویربرداری‌های پی در پی از بافت‌ها و مشخص شدن کسر برداشت رادیوداروی هر عضو و رسم منحنی اکتیویته زمان بدست آورد. سطح زیر این منحنی در هر بازه‌ی زمانی، اکتیویته انباشته ( $\bar{A}$ ) خواهد بود و از تقسیم آن بر اکتیویته داده شده ( $A_0$ ) به زمان اقامت رادیودارو در عضو مورد نظر می‌رسیم. مقادیر  $S$  نیز برای جفت عضوهای بسیاری از چشمه‌ها و هدف‌ها و برای انواع بسیاری از رادیونوکلیدهای مهم در پزشکی هسته‌ای گردآوری شده و در دسترس می‌باشد [۵].

### ۱-۲ گُد مونت کارلوی MCNP

گُد مونت کارلوی *MCNP* برای هندسه‌های عام، انرژی پیوسته و گسسته، وابسته به زمان، و ترابرد توأم نوترون-گاما-الکترون می‌باشد. *MCNP* شامل بازه انرژی  $10^{-11} MeV$  تا  $20 MeV$  برای نوترون، و بازه انرژی  $1 keV$  تا  $1000 MeV$  برای فوتون و الکترون است، بدین لحاظ *MCNP* یکی از تواناترین گُد‌های محاسباتی است که بازه گسترده‌ای از انرژی ذرات را در بر می‌گیرد؛ همچنین این گُد شامل کامل‌ترین مجموعه تکنیک‌های کاهش واریانس است. در این گُد شبیه‌سازی، ارگان‌های چشمه و هدف را می‌توان به صورت یک فانتوم، که هندسه‌ی آن همانند ارگان واقعی است، مدل‌سازی نمود و ترکیب مواد تشکیل دهنده‌ی آنها نیز باید در فانتوم لحاظ شود؛ فانتوم به صورت یک حجم ساده است که اندازه و مواد آن توسط کاربر معین می‌شود.

### ۳- روش کار

در این پژوهش برای شبیه سازی اعضای داخلی بدن، چند عضو شامل کبد، ریه ها، کلیه ها و قلب را در نظر گرفته ایم؛ نمایی از این اعضا در کنار شکل اصلی اعضای داخلی بدن انسان، در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شبیه سازی، جرم کلیه ها، ریه ها، کبد و قلب به ترتیب ۲۸۸، ۹۲۸، ۱۸۰۰ و ۲۸۶ گرم است که به مقادیر منتشر شده برای انسان مرجع در نشریه شماره <sup>23</sup>ICRP بسیار نزدیک می باشد.



شکل ۲: هندسه مربوط به شبیه سازی اعضای داخلی.

### ۴- نتایج

در این پژوهش تنها به محاسبه دُز جذبی ناشی از جیوهی داخل کلیه ها پرداخته شده است. از آنجا که تعداد عضوهای هدف خیلی زیاد هستند و مقادیر ک هر کدام از آنها در گروه های سنی مختلف با هم متفاوت است، از آوردن آنها صرف نظر می کنیم، اما هر یک از آنها را می توان از مقادیر دُز جذبی که در جدول شماره ۱ آورده شده است و با توجه به زمان اقامت ۱۶ روز (۳۸۴ ساعت) و رابطه ی (۱) به راحتی بدست آورد.

جدول ۱: دُز جذبی به ازای واحد اکتیویته در کلیه ها.

ارگان هدف	دُز جذبی از واحد اکتیویته در کلیه ها (mGy/MBq)					
	یکساله	۵ساله	۱۰ساله	۱۵ساله	بزرگسال	زن
غدد فوق کلیوی	۱/۱۵	۵/۴۵	۳/۲۱	۲/۲۵	۱/۱۷	۲/۰۳
مغز	$1/9 \times 10^{-2}$	$1/17 \times 10^{-2}$	$6/9 \times 10^{-3}$	$4/13 \times 10^{-3}$	$4/01 \times 10^{-3}$	$4/35 \times 10^{-3}$
کیسه صفرا	۳/۱	۲/۳۴	۱/۳۸	۹/۷۰	$1/01 \times 10^{-1}$	$1/69 \times 10^{-1}$
قسمت پایینی روده بزرگ	$9 \times 10^{-1}$	$5/54 \times 10^{-1}$	$3/26 \times 10^{-1}$	$2/21 \times 10^{-1}$	$1/19 \times 10^{-1}$	$2/05 \times 10^{-1}$
روده کوچک	۲/۵	۱/۵۴	۹/۱۰	۶/۳۷	$5/29 \times 10^{-1}$	$5/14 \times 10^{-1}$
معده	۲/۳۷	۱/۴۶	$1/6 \times 10^{-1}$	$6/02 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-1}$	$5/43 \times 10^{-1}$
قسمت بالایی روده بزرگ	۲/۲۶	۱/۳۹	$1/2 \times 10^{-1}$	$5/14 \times 10^{-1}$	$4/16 \times 10^{-1}$	$5/16 \times 10^{-1}$
قلب	$9/24 \times 10^{-1}$	$5/69 \times 10^{-1}$	$3/35 \times 10^{-1}$	$2/35 \times 10^{-1}$	$1/95 \times 10^{-1}$	$2/12 \times 10^{-1}$
کلیه ها	۳۴۷/۶۵	۲۱۴	۱۲۶/۰۷	۱۱/۲۵	۷۳/۲۵	۷۹/۴۸
کبد	۳/۰۱	۱/۱۵	۱/۰۹	۷/۶۰	$6/3 \times 10^{-1}$	$6/14 \times 10^{-1}$
ریه ها	۱/۰۱	$6/21 \times 10^{-1}$	$3/66 \times 10^{-1}$	$2/56 \times 10^{-1}$	$2/12 \times 10^{-1}$	$2/3 \times 10^{-1}$

ادامه جدول شماره ۱:

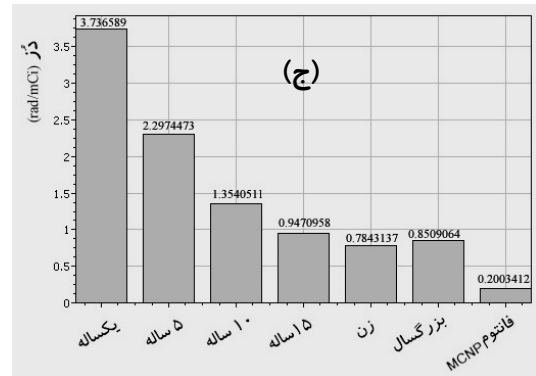
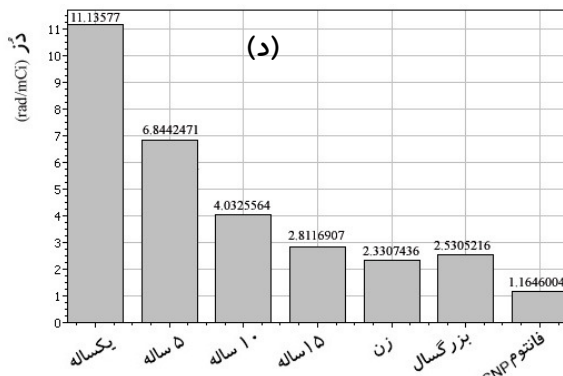
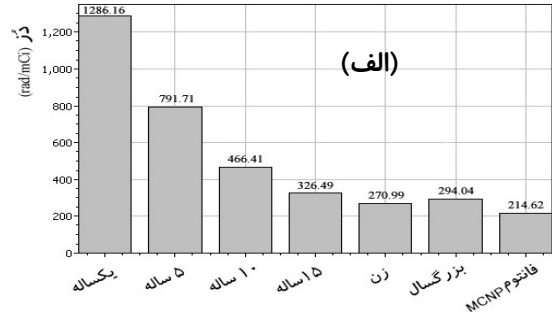
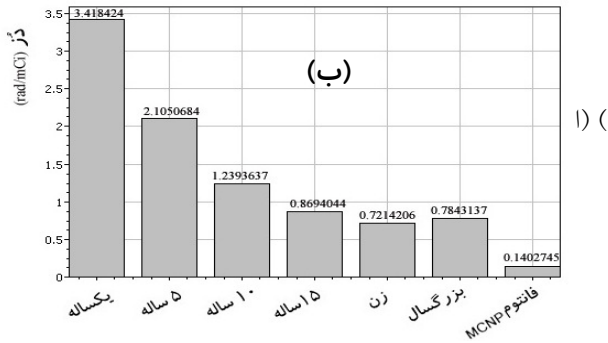
$2/3 \times 10^{-1}$	$2/22 \times 10^{-1}$	$2/68 \times 10^{-1}$	$3/83 \times 10^{-1}$	$6/50 \times 10^{-1}$	۱/۰۶	ماهیچه‌ها
۱/۱۲	۱/۰۳	۱/۲۴	۱/۷۷	۳	۴/۸۷	لوزالمعده
$3/36 \times 10^{-1}$	$3/1 \times 10^{-1}$	$3/7 \times 10^{-1}$	$5/28 \times 10^{-1}$	$1/97 \times 10^{-1}$	۱/۴۶	مغز استخوان
$3/19 \times 10^{-1}$	$2/94 \times 10^{-1}$	$3/54 \times 10^{-1}$	$5/06 \times 10^{-1}$	$1/57 \times 10^{-1}$	۱/۳۹	سطح استخوان‌ها
$1/14 \times 10^{-1}$	$1/05 \times 10^{-1}$	$1/26 \times 10^{-1}$	$1/8 \times 10^{-1}$	$3/05 \times 10^{-1}$	۴/۹۵	پوست
۱/۶۳	۱/۵	۱/۸۱	۲/۵۹	۴/۳۹	۷/۱۳	طحال
$7/66 \times 10^{-2}$	$7/06 \times 10^{-2}$	$1/5 \times 10^{-2}$	$1/22 \times 10^{-1}$	$2/06 \times 10^{-1}$	$3/35 \times 10^{-1}$	غده تیموس
$3/48 \times 10^{-2}$	$3/21 \times 10^{-2}$	$3/86 \times 10^{-2}$	$5/52 \times 10^{-2}$	$9/35 \times 10^{-2}$	$1/52 \times 10^{-1}$	غده تیروئید
$1/11 \times 10^{-1}$	$1/02 \times 10^{-1}$	$1/23 \times 10^{-1}$	$1/75 \times 10^{-1}$	$2/97 \times 10^{-1}$	۴/۸۲	مثانه

نتایج محاسبات MCNP برای دُز جذبی اعضای اصلی بدن به ازای یک واپاشی 0.3 و به همراه خطای محاسبات در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: دُز جذبی چند عضو هدف به ازای یک واپاشی  $^{203}\text{Hg}$ .

خطا	دُز جذبی (rad)	ارگان هدف
$2/001707 \times 10^{-15}$	$4/190722 \times 10^{-12}$	کلیه‌ها
$6/175051 \times 10^{-17}$	$3/911941 \times 10^{-15}$	ریه‌ها
$9/546648 \times 10^{-17}$	$2/274045 \times 10^{-14}$	کبد
$9/60372 \times 10^{-17}$	$2/139054 \times 10^{-15}$	قلب
$5/633811 \times 10^{-17}$	$7/312339 \times 10^{-14}$	باقیمانده بدن

برای این که بتوانیم مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از روش MIRD و محاسبات MCNP انجام دهیم، در ابتدا نتایج هر دو را به صورت دُز بر واحد اکتیویته داده شده در محاسبه کرده و سپس بر حسب رادیان بر میلی کوری می‌نویسیم. در نمودارهای نشان داده شده در زیر، مقادیر دُز جذبی چهار عضو هدف شامل کلیه‌ها، ریه‌ها، کبد و قلب را برای شش گروه سنی روش MIRD و فانتوم بزرگسال MCNP آورده شده است.



نمودار ۱: دز جذبی بر واحد اکتیویته داده شده برای شش گروه سنی، فانتوم بزرگسال MCNP، (الف) کلیه‌ها، (ب) کبد، (ج) ریه‌ها، (د) قلب

## ۵- بحث و نتیجه گیری

در این روش نیازی به شبیه‌سازی اعضای بدن نیست. نتایج نشان می‌دهد که دز محاسبه شده، به روش دزسنجی و فانتوم بکار رفته بستگی دارد و اگرچه نتایج حاصل از کُد MCNP با کُد MIRD متفاوت است ولی در حد قابل قبولی با یکدیگر همخوانی دارد. چون شرایط فیزیولوژیکی و آسیب شناختی هر بیماری با دیگری متفاوت است، دزسنجی‌ها برای هر فرد باید به صورت جداگانه انجام شود. برای پیشگیری از عوارض بافتی نیز پیشنهاد می‌شود که با تصویربرداری‌های پی‌درپی از بافت‌ها، میزان واقعی برداشت هر عضو با دقت خوبی مشخص شود و سپس عملیات محاسبات دز انجام پذیرد.

## ۶- مراجع

- [1]. The website: <http://bionuclear.mihant>
- [2]. Appendix to Nuclear Issues Briefing, New Reactor Needed for Medical Imaging, why Cyclotrons Cannot do the Job, Australasian Science Magazine 26 (1999).
- [3]. W. S. Snyder, M. R. Ford, G. G. Warner, MIRD Pamphlet 5: Estimates of Absorbed Fraction for Photon Sources Uniformly Distributed in Various Organs of a Heterogeneous Phantom, Society of Nuclear Medicine (1978).
- [4]. W. S. Snyder, M. R. Ford, G. G. Warner, S. B. Watson, MIRD Pamphlet No. 11: "S," Absorbed Dose Per Unit Cumulated Activity for Selected Radionuclides and Organs, Society of Nuclear Medicine (1975).
- [5]. R. Loevinger, T. Budinger, E. Watson, MIRD Primer for Absorbed Dose Calculations, Society of Nuclear Medicine (1991) 1-33.