مجله علوم و فنون هسته‌ای، جلد ۹۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰

Journal of Nuclear Science and Technology
Vol. 97, No. 4, 2021

بررسی توزیع دز پرتو ایکس در اندام‌های زن و مرد بالغ ناشی از عملکرد دستگاه پلاسمای کانونی

سیده مریم نوری دوگاهی[۱]، سید محمدمهدی ابطحی*[۲]، مرتضی حبیبی[۳]

۱. گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی: ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران - ایران

۲. گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، صندوق پستی: ۹۶۸۱۸-۳۴۱۴۸، قزوین - ایران

۳. گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، صندوق پستی: ۴۳۱۱-۱۵۹۱۶۳، تهران - ایران

*Email: sm.abtahi@sci.ikiu.ac.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۹/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۱/۱۸

چکیده

در این پژوهش دستگاه پلاسمای کانونی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (IKPF) از نوع مدر با انرژی متوسط ۲٫۵ kJ به‌عنوان منبع پالسی پرتو ایکس سخت بوسیله کد مونت‌کارلوی MCNP ۵ شبیه‌سازی شد. طیف پرتو ایکس سخت حاصل از شبیه‌سازی به دست آمد. با استفاده از دزیمتری با قرص‌های ترمولومینسانس، دز ایکس حاصل از دستگاه با گاز تزریقی آرگون در فشار ۰٫۸ mbar در فاصله ۲۳ cm از بالای آند، ۰٫۸ mSv در هر شات به دست آمد. هم‌چنین با استفاده از فانتوم ORNL، که بر اساس بدن واقعی انسان شبیه‌سازی شده، دز جذبی پرتو ایکس در اندام‌های نرم که در فواصل مشخصی از دستگاه قرار دارد محاسبه شد. مشخص شد که بالاترین دز در فاصله ۳۰ cm از دستگاه در فانتوم مرد بالغ در اندام بیضه به مقدار $۲٫۰۸۹۰\times۱۰^{-۱۴}$ mGy و در فانتوم زن در اندام مثانه و محتویات آن به مقدار $۲٫۶۶۱۳\times۱۰^{-۱۵}$ mGy می‌باشد. علاوه بر این، در فاصله ۲۳۰ cm بیش‌ترین مقدار دز جذبی در اندام‌ها، مربوط به بیضه در فانتوم مرد به مقدار $۳٫۵۶۰۱\times۱۰^{-۱۶}$ mGy و پوست در فانتوم زن به مقدار $۱٫۱۰۰۴\times۱۰^{-۱۶}$mGy می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: دستگاه پلاسمای کانونی، پرتو ایکس سخت، اندام‌های بافت نرم، MCNP۵

Evaluation of X-ray dose distribution in adult male and female organs due to plasma focus device function

S.M. Nouri Dogahi[1], S.M.M. Abtahi*[2], M. Habibi[3]

1. Physics Department, Payame Noor University, P.O. Box: 19395-3697, Tehran- Iran
2. Physics Department, Basic Science Faculty, Imam Khomeini International University, P.O.Box: 34148-96818, Qazvin – Iran
3. Nuclear Engineering Department, Physics and Energy Faculty, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 159163-4311, Tehran - Iran

Research Article

Received 20.12.2020, Accepted 6.2.2021

Abstract

The X-ray dose and hard X-ray spectrum corresponding to a 2.5 kJ plasma focus device were investigated in the present work. The X-ray dose using Argon gas at a pressure of 0.8 mbar and a distance of 23 cm from the top of the anode was 0.8 mSv per shot. Using the ORNL phantom simulated on the natural human body, an X-ray absorption dose was computed for soft tissue organs at specific distances from the device. The maximum absorbed dose was related to the length of 30 cm for the testis in the male phantom (2.0890×10^{-14} mGy) and the bladder and contents in the female phantom (2.6613×10^{-15} mGy). In addition, at the distance of 230 cm, the maximum absorbed dose was in the testis in the male phantom (3.5601×10^{-16} mGy) and in the skin for the female phantom (1.1004×10^{-16} mGy).

Keywords: Plasma focus device, Hard X-ray, Soft tissue organs, MCNP5

۱. مقدمه

دستگاه پلاسمای کانونی[1] یک ابزار تخلیه بار هم‌محور است که پلاسماهایی با عمر کوتاه (در حدود چند ده تا چند صد نانوثانیه)، دمای بالا در محدوده ۱ تا ۲ keV و چگالی بالا در حدود 10^{18} تا 10^{20} Particle/cm^2 تولید می‌کند [۱]. از جمله پرتوهایی که از دستگاه تابش می‌شود، پرتو ایکس سخت است که مهم‌ترین مشخصه آن این است که در یک پالس بسیار کوتاه‌مدت، از مرتبه نانوثانیه، گسیل می‌شود. این ویژگی می تواند کاربردهای بسیاری در موارد گوناگون هم‌چون صنعت و لیتوگرافی پرتو ایکس [۱]، عکس‌برداری از اشیاء در حال حرکت [۲]، رادیوگرافی صنعتی [۳]، پزشکی، علم مواد [۴] و موارد دیگر داشته باشد.

اگرچه دز نوترون گسیلی حاصل از دستگاه‌های پلاسمای کانونی در اندام‌های بدن انسان در تعدادی از مقالات مورد بررسی قرار گرفته است [۵]، اما به اثر ایکس سخت دستگاه بر تک تک اندام‌های بدن کم‌تر پرداخته شده است. در نتیجه تشکیل و واپاشی پینچ[2] در دستگاه پلاسمای کانونی رخداد فرایندهایی هم‌چون گداخت[3] هسته‌ای و نیز گسیل طیف وسیعی از پرتوهای یونیزان شامل نوترون [۶]، پرتو ایکس [۷] و نیز برخی یون‌های سنگین [۸، ۹] مورد انتظار است. پرتو ایکس حاصل از دستگاه پلاسمای کانونی ناشی از برهم‌کنش الکترون های تولید شده در مرحله پینچ و نیز تابش‌های ترمزی با آند می‌باشد [۱۰]. علی‌رغم این‌که الکترون‌ها، یون‌های سنگین و پرتو ایکس نرم شانس کمی جهت خروج از اتاقک[4] دستگاه پلاسمای کانونی دارند، پرتوهای نوترون و پرتو ایکس سخت با توجه به نفوذ قابل‌توجه امکان خروج از اتاقک دستگاه را خواهند داشت [۶، ۱۱]. موضوع بررسی اثرات بیولوژیکی این پرتوها زمانی جدی‌تر می‌شود که جهت بررسی و کاربرد پرتوهای نوترون و ایکس دستگاه پلاسمای کانونی، پنجره‌هایی از جنس شیشه در بدنه فولادی اتاقک طراحی شود که امکان خروج پرتوهای ایکس و نوترون فراهم آید. در بسیاری موارد دستگاه پلاسمای کانونی با گازی به‌جز دوتریوم پر می‌شود که در این حالت گداخت و در نتیجه گسیل نوترون اتفاق نمی‌افتد. اما در این حالت نیز اپراتور یا افراد حاضر در مجاورت دستگاه ممکن است در معرض تابش‌های یونیزان قرار داشته باشد. چرا که فرایند پینچ در سیستم پلاسمای کانونی منجر به پالس‌های نسبتاً قوی پرتو ایکس سخت خواهد شد. حتی در مواردی که پلاسمای کانونی با گازهای سنگین‌تر از دوتریوم پینچ می‌دهد، شار پرتو ایکس قوی‌تری تولید خواهد کرد [۱۲، ۱۳]. بنابراین مسئله بررسی دز جذبی پرتو ایکس تولیدی ضروری است. هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر بیولوژیکی پرتو ایکس سخت گسیلی از دستگاه پلاسمای کانونی پرشده با گاز آرگون می‌باشد. این بررسی جهت تعیین فاکتورهای حفاظتی دستگاه پلاسمای کانونی و تعیین فاصله ایمن برای کاربر ضروری است.

1. Dense Plasma Focus Device
2. Pinch
3. Fusion
4. Chamber

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ دستگاه پلاسمای کانونی IKPF

در این پژوهش از دستگاه پلاسمای کانونی IKPF از نوع مدر[5] با خازن ماکسولی ۳۶ μF و ولتاژ کاری ۱۲ kV استفاده شد. این دستگاه دارای یک اتاقک استوانه‌ای از جنس فولاد ضدزنگ با قطر ۳۱ cm، ارتفاع ۴۰ cm و ضخامت ۱٫۱ cm می‌باشد. در مرکز آن یک آند استوانه‌ای توخالی از جنس مس با ارتفاع ۱۷ cm و قطر داخلی ۳٫۶ cm قرار گرفته است. ضخامت دیواره آند مسی ۰٫۴ cm می‌باشد. عایقی استوانه‌ای از جنس پیرکس با ارتفاع ۵ cm و قطر ۴٫۵ cm در پایین آند قرار گرفته است. حول آند شش عدد الکترود مسی با طول ۱۶٫۶ cm و قطر ۰٫۸ cm روی محیط دایره‌ای با شعاع ۶٫۴۶ cm به مرکزیت مرکز آند قرار گرفته‌اند. یک پنجره شیشه‌ای دایره‌ای روی دیواره اتاقک قرار دارد. ضخامت شیشه ۱٫۴ cm و مرکز این پنجره دایره‌ای درست در زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور آند دستگاه و در فاصله ۱۸ cm از کف اتاقک قرار دارد. اتاقک دستگاه از گاز آرگون پر شده است. شکل ۱ نشان‌دهنده تصویری از نمای درونی و بیرونی دستگاه IKPF می باشد.

(الف) (ب)

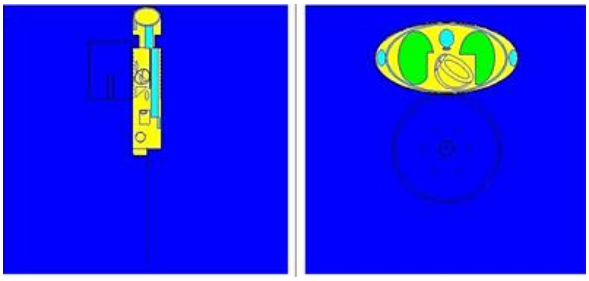
شکل ۱. الف) تصویری از درون اتاقک دستگاه ب) نمای بیرونی دستگاه IKPF.

۵. Mather Type

۲.۲ شبیه‌سازی

در پژوهش حاضر، علاوه بر بررسی با استفاده از قرص‌های TLD[1] از شبیه‌سازی به روش مونت‌کارلو با کمک کد MCNP۵ نیز استفاده شد [۱۴]. جهت شبیه‌سازی دز جذبی ایکس سخت در اندام‌های مختلف از فانتوم عددی ORNL[2]، که با تقریب خوبی جزییات اندام‌های خارجی و داخلی بدن را شبیه‌سازی می‌کند، استفاده شد [۱۵]. این فانتوم در فواصل مختلف از دستگاه IKPF قرار داده شد و مقدار دز جذبی X در اندام‌های با بافت نرم بدن انسان شامل مثانه، کلیه، کبد، مغز، غدد آدرنال، لوزالمعده، ریه، مری، تیرویید، طحال، غده تیموس، رحم، کولون و محتویات آن، بیضه، پستان و تخمدان‌ها در دو جنس زن و مرد به طور جداگانه بررسی شد. نمایی از فانتوم شبیه‌سازی شده در مجاورت دستگاه IKPF در دو نمای جانبی و محوری به‌ترتیب در شکل‌های ۲. الف و ۲ .ب نمایش داده شده است.

به‌منظور تعیین طیف پرتو ایکس تولید شده، از تالی[3] F۵، که در کد MCNP برای قراردادن آشکارساز نقطه‌ای برای به دست آوردن شار ذرات در یک نقطه بسیار کوچک در محل موردنظر به‌کار می‌رود، به همراه کارت E۵، برای یافتن شار انرژی ذرات، استفاده شد. مکان تالی آشکارساز F۵ در بالای آند و روی سطح خارجی درب اتاقک در نظر گرفته شد. تعداد تاریخچه دنبال شده (nps) جهت کاهش خطای نسبی تا کم‌تر از ۵٪ برای فوتون‌ها $۱۰^{۱۰}$ در نظر گرفته شد. به‌منظور تعیین دز جذبی در اندام‌های مختلف فانتوم ORNL از تالی F۴، که در کد MCNP نماینده آشکارسازی است که میانگین شار حجمی ذرات در محل مورد نظر را به دست می‌دهد، استفاده شد. سپس کارت‌های DE و DF برای تبدیل شار ذرات به دز ذرات دریافت شده در آشکارساز با توجه به استاندارد ANSI/ANS - ۶,۱,۱-۱۹۷۷ مورد استفاده قرار گرفت [۱۴].



(الف) (ب)

شکل ۲. (الف) هندسه شبیه‌سازی شده دستگاه IKPF به‌همراه فانتوم بدن انسان با دید از بالا، (ب) همان هندسه‌ها با دید جانبی.

۳.۲ چشمه

مکان قرارگیری چشمه تابش ایکس در دستگاه پلاسمای کانونی در امتداد محور مرکزی آند و به‌طور معمول در فاصله‌ای حدود ۰٫۵ تا cm ۱٫۵ بالاتر از نوک آند در نظر گرفته می‌شود [۱۶، ۱۷]. در این پژوهش مکان چشمه محل تجربی پینچ در دستگاه پی‌اف در فاصله cm ۱۸ از مرکز کف اتاقک و روی محور مرکزی در نظر گرفته شد. مطالعات نشان می‌دهند که جهت گسیل پرتو ایکس سخت در دستگاه پلاسمای کانونی در همه جهت‌ها همگن نیست و بیشینه تابش در بالای آند مشاهده می شود [۱۰]. در این پژوهش جهت گسیل پرتو ایکس دستگاه با هندسه ۴π [۱۸] و به‌عنوان بدترین حالت در تمامی جهت‌ها یکسان و برابر با بیشینه مقدار مشاهده شده آن در بالای آند در نظر گرفته شد.

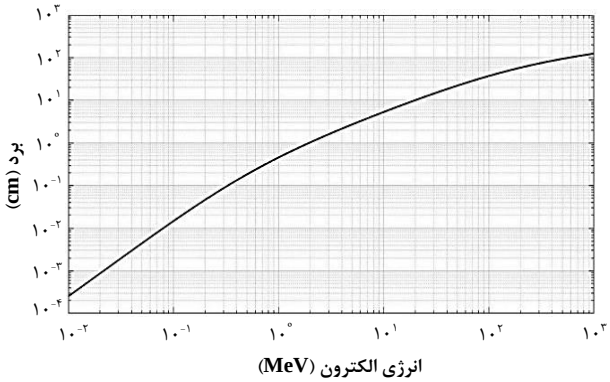
۴.۲ قرص‌های ترمولومینسانس

جهت اعتبارسنجی شبیه‌سازی انجام شده تعدادی قرص GR-200 (LiF:Mg,cu,p) در داخل اتاقک دستگاه درست در بالای آند و در زاویه ۹۰ درجه از محور آند قرار داده شد. قرص‌ها ابتدا با چشمه‌های استاندارد تحت تابش قرار گرفتند و نمودار کالیبراسیون آن‌ها به دست آمد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد آنیل شدند تا از هر گونه بار احتمالی خالی شوند. سپس این قرص‌ها در پوششی از جنس پلی‌اتیلن به ضخامت mm ۰٫۳ قرار داده شدند تا از رسیدن یون‌های سنگین به آن‌ها جلوگیری شود. پیش از این نشان داده شده است که الکترون‌های سریع پس از پینچ به سمت آند پرتاب می‌شوند [۱۰، ۱۹]؛ بنابراین لازم است TLDها با لایه‌ای پوشانده شوند که فقط مانع رسیدن یون‌های سنگین شود. اگرچه برای اطمینان ضخامت لایه طوری انتخاب شد که از رسیدن الکترون‌های با انرژی keV ۱۰۰ به قرص‌ها جلوگیری شود. این مقدار به‌دلیل انرژی پس پراکندگی الکترون انتخاب شد. علاوه بر این، این لایه باعث تمیز ماندن TLD نیز خواهد شد که برای عدم خودجذبی نور گسیلی هنگام خوانش اهمیت ویژه‌ای دارد. هم‌چنین با توجه به چگالی پلی‌اتیلن، که در حدود $g/cm^۳$ ۰٫۹ می‌باشد، این ضخامت از پلی‌اتیلن سبب فیلتر شدن ایکس نرم با انرژی فوتون کم‌تر از keV ۵ خواهد شد. شکل ۳ نمایی از دستگاه IKPF در حالتی که قرص‌های TLD بر روی سطح داخلی درب اتاقک آن چسبانیده شده‌اند را نشان می‌دهد. قرص‌های موجود در مرکز و درست در بالای آند که با دایره قرمز مشخص شده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برد الکترون با استفاده از کد ESTAR و برد ذرات آلفا با استفاده از کد

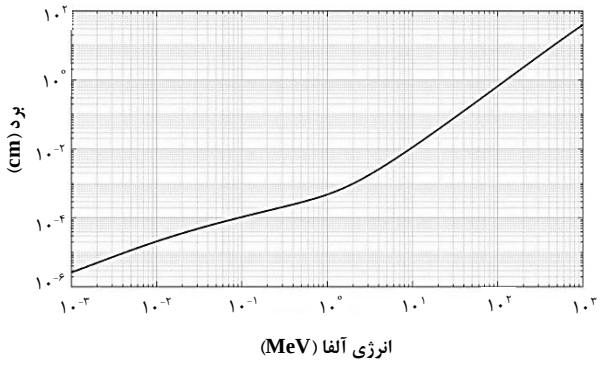
1. Thermoluminescence Dosimeters
2. Oak Ridge National Laboratory
3. Tally

ASTAR محاسبه شد [۲۰]. برد الکترون و ذرات آلفا برحسب انرژی در پی‌اتیلن در شکل ۴ نمایش داده شده است. سپس تعداد چهار قرص در زاویه ۹۰ درجه و روی پنجره شیشه‌ای در درون محفظه دستگاه قرار داده شد و چهار قرص دیگر روی همان پنجره و در بیرون محفظه جای‌گذاری شد و میانگین دز جذبی قرص‌ها در زاویه ۹۰ درجه در درون و بیرون پنجره دستگاه به دست آمد.

شکل ۳. قرص‌های TLD که در پوششی از پلی‌اتیلن بر روی سطح داخلی اتاقک دستگاه IKPF در بالای آن چسبانیده شده‌اند.



(الف)



(ب)

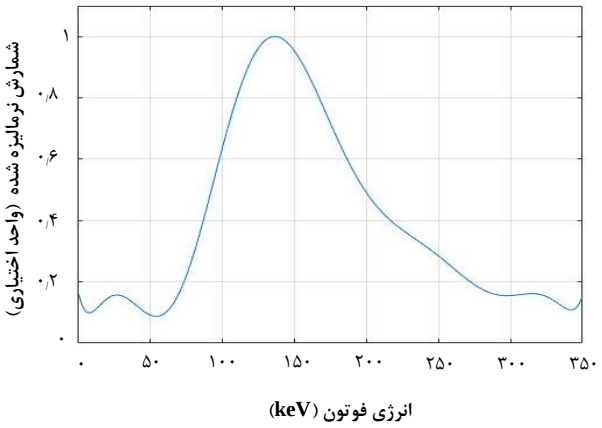
شکل ۴. برد الف) الکترون و ب) ذرات آلفا در پلی‌اتیلن.

به‌منظور تابش‌دهی قرص‌های TLD با پرتو ایکس چهل شات زده شد و سپس با کمک دستگاه خوانش TLD[1] مدل ۷۱۰۳-Iran/Imen Gostar.Co.RSD CO.ir مقدار بار جذب شده خوانده شد و سپس با کمک نمودار کالیبراسیون دستگاه خوانش TLD دز جذبی قرص‌ها بدست آمد.

۳. نتایج

شکل ۵ طیف ایکس شبیه‌سازی شده حاصل از دستگاه IKPF را در بیرون درب اتاقک نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود، این طیف‌ها در انرژی حدود ۱۴۰ keV دارای قله‌ای با پهنای باند حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ keV هستند. این شبیه‌سازی با پژوهش تجربی راسپا و همکاران [۳، ۲۱] اعتبارسنجی شد و درستی طیف حاصل با انطباق شبیه‌سازی بر آن دستگاه تأیید شد.

برای اندازه‌گیری مقدار دز پرتو ایکس در داخل اتاقک، از قرص‌های GR-۲۰۰ درست در بالای آند و چسبیده به سطح داخلی درب چمبر استفاده شد. با استفاده از دستگاه خوانش TLD مقدار بار جذبی قرص‌ها خوانده شد و مقادیر دز پرتو ایکس در هر شات دستگاه، ۰٫۸ mSv در فاصله ۲۳ cm از بالای آند به دست آمد. در زاویه ۹۰ درجه در روی پنجره دستگاه و در داخل اتاقک برای چهار قرص کالیبره شده GR-۲۰۰ میانگین دز ۰٫۰۸ mSv در هر شات به دست آمد که کاهش چشم‌گیر مقدار دز دریافتی را نشان می‌دهد. هم‌چنین برای چهار قرص دیگر که روی سطح بیرونی پنجره دستگاه کار گذاشته شدند، مقدار ۰٫۰۰۸ mSv برای دز به دست آمد. این نتایج نشان‌دهنده این است که علاوه بر زاویه، ضخامت شیشه دستگاه IKPF نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش دز دستگاه دارد.



شکل ۵. طیف پرتو ایکس سخت دستگاه پلاسمای کانونی IKPF.

1. TLD Reader

بر اساس این نتایج، تعداد ذرات (فوتون‌های با انرژی بیش‌تر از ۵ keV) در بالای آند به‌عنوان بالاترین مقدار دز و بدترین نتیجه از طریق رابطه شماره ۱ به دست می‌آید:

$$\text{تعداد فوتون‌های گسیل شده در یک شات} = \frac{\text{مجموع دز حاصل از TLD برای کل ذرات}}{\text{دز حاصل از شبیه سازی به ازای یک ذره}} \quad (۱)$$

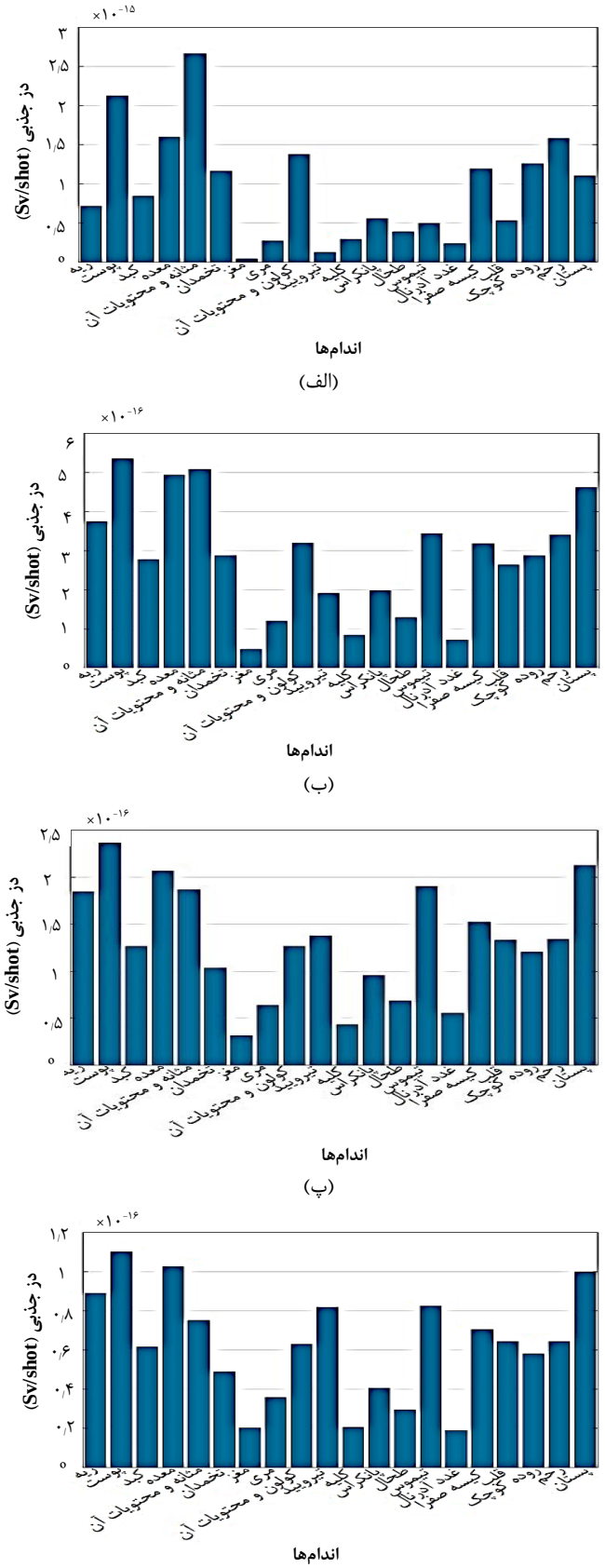
با استفاده از رابطه ۱ تعداد ذرات از آزمایش تجربی ۸×۱۰^{۸} ذره به دست آمد. با توجه به این‌که شبیه‌سازی MCNP مقدار دز را به ازای یک ذره به دست می‌دهد، لازم است نتیجه حاصل از تالی MCNP در عدد فوق ضرب شود. برای این کار از کارت FM در برنامه استفاده شد که کار ضرب عدد دز به ازای یک ذره در تعداد کل ذرات را انجام می‌دهد. سپس با استفاده از مدل شبیه‌سازی شده دستگاه IKPF و قرار دادن فانتوم ORNL مرد و زن در فواصل گوناگون در مقابل آن، مقدار دز پرتو ایکس در اندام‌های گوناگون به دست آمد. شکل‌های ۶ و ۷ به‌ترتیب نشان‌دهنده نمودار میله‌ای دز حاصل از پرتو ایکس دستگاه IKPF در اندام‌های زن و مرد در فواصل ۳۰، ۹۰، ۱۵۰ و ۲۳۰ cm از IKPF می‌باشد. همان‌طور که از نمودارها پیداست، در کلیه فواصل بیش‌ترین مقدار دز جذبی در اندام بیضه در مردان و در اندام پوست در زنان دیده می‌شود. هم‌چنین کم‌ترین دز جذبی در هر دو جنس در تمامی فواصل مربوط به مغز می‌باشد.

۴. بحث و بررسی

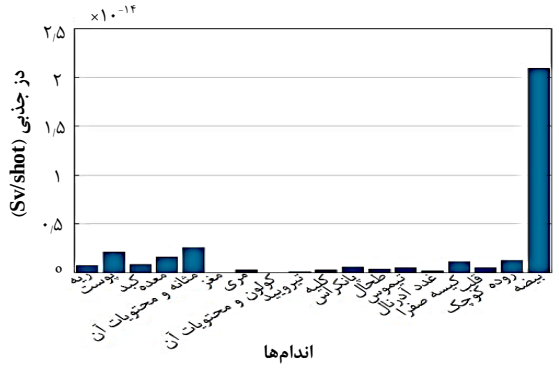
۱.۴ طیف ایکس سخت حاصل از IKPF

نتایج نشان داد که در طیف ایکس گسیلی دستگاه IKPF در انرژی کاری ۲/۵ kJ و ولتاژ ۱۲ keV، ایکس سخت دارای یک قله در انرژی ۱۴۰ keV با پهنای باند در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ keV می‌باشد و پس از انرژی ۳۵۰ keV، طیف ایکس به صفر میل می‌کند.

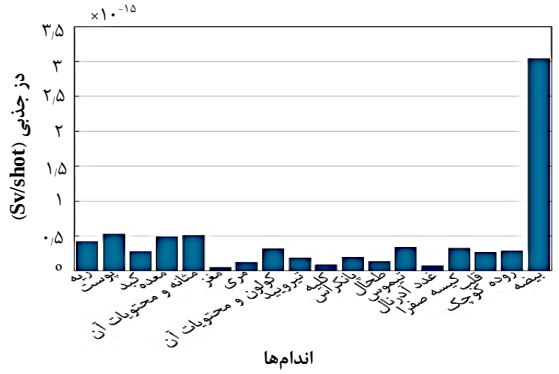
راسپا و همکاران طیف پرتو ایکس گسیلی از دستگاه پلاسمای کانونی‌ای از نوع مدر با انرژی ۴/۷ kJ را، که با ۹۷/۵٪ دوتریم و ۲/۵٪ درصد آرگون پر شده بود، به دست آوردند. در این پژوهش طیف ایکس حاصل دارای قله ۷۰ keV و پهنای باند ۷۰ تا ۱۷۰ keV بوده و برای انرژی بالاتر از ۳۵۰ keV، انرژی طیف ایکس به صفر میل می‌کند [۲۱]. در پژوهشی دیگر، نابلاچ و همکاران با استفاده از شبیه‌سازی با کد MCNP طیف ایکس سخت حاصل از دستگاه فوق در انرژی کاری ۴/۷ kJ را، که با ۹۷/۵ درصد دوتریم و ۲/۵٪ آرگون پر شده بود، به دست آوردند. طیف شبیه‌سازی شده نیز دارای یک قله تکی در ۷۵ keV و پهنای باند در محدوده ۷۰ تا ۱۸۰ keV بود [۳].



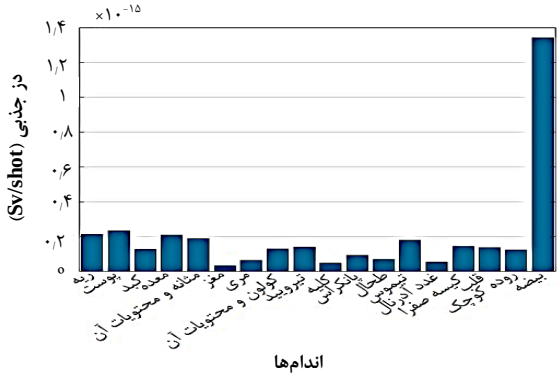
شکل ۶. مقادیر دز جذبی در اندام‌های یک زن بالغ ناشی از هر شات دستگاه پلاسمای کانونی IKPF در فواصل الف) ۳۰ cm ب) ۹۰ cm پ) ۱۵۰ cm ت) ۲۳۰ cm.



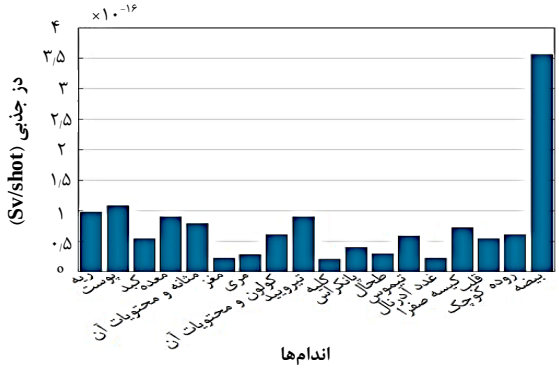
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۷. مقادیر دز جذبی در اندام‌های یک مرد بالغ ناشی از هر شات دستگاه پلاسمای کانونی IKPF در فواصل الف) ۳۰ cm ب) ۹۰ cm پ) ۱۵۰ cm ت) ۲۳۰ cm.

۲.۴ دز پرتو ایکس سخت حاصل از IKPF

مقدار دز پرتو ایکس در هر شات در داخل اتاقک دستگاه در فاصله ۲۳ cm بالای آند با استفاده از قرص‌های GR-۲۰۰ برابر با ۰٫۸ mSv به دست آمد. بنابراین در پژوهش حاضر مقدار دز در هر شات بر واحد انرژی ۰٫۳۲ به دست می‌آید. تفرشی برای دستگاهی با انرژی ۳۷ kJ مقدار دز ۱۲٫۹ mGy را به دست آورده است. انرژی کاری‌ای که در پژوهش ایشان مورد استفاده قرار گرفته ۱۴٫۸ برابر انرژی دستگاه پلاسمای کانونی در پژوهش حاضر است. با تقسیم دز به دست آمده از پژوهش آن‌ها بر عدد ۱۴٫۸، دزی حدود ۰٫۷۸ به ازای هر شات به دست می‌آید [۲۲]. مقدار دز بر شات بر واحد انرژی در پژوهش ایشان ۰٫۳۵ dose/shot.kJ به دست آمد. در پژوهش حاضر، دز بر شات بر واحد انرژی ۰٫۳۲ dose/shot.kJ می‌باشد. علت اختلاف پژوهش حاضر با پژوهش تجربی تفرشی و همکاران را می‌توان به تفاوت‌های ساختاری دو دستگاه استفاده شده نسبت داد.

در مقاله‌ای دیگر، نابلاچ و همکاران برای دستگاه پی‌اف نوع مدر با انرژی ۴٫۷ kJ، که با ۹۷٫۵٪ دوتریم و ۲٫۵٪ آرگون پر شده بود، با استفاده از دزیمترهای ترمولومینسانس مقدار میانگین دز بر شات ۱٫۵ ±۰٫۱ mGy/sr.shot را به دست آوردند [۳]. مقدار دز در هر شات در واحد انرژی برای پژوهش مذکور ۰٫۳۱ dose/shot.kJ به دست آمد. اختلاف‌های پژوهش حاضر با دستگاه استفاده شده به‌وسیله راسپا و همکاران [۲۱] و نابلاچ و همکاران [۳]، به اختلاف در گاز پرشده و تفاوت ساختاری دو دستگاه منسوب می‌شود. اگرچه نزدیکی نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های اشاره شده گویای این موضوع است که طیف ایکس سخت تا حدود زیادی مستقل از ساختار دستگاه، انرژی کاری و حتی نوع گاز پر شده است.

هم‌چنین این احتمال داده می‌شود که مقدار دز پرتو ایکس حاصل از دستگاه پلاسمای کانونی متناسب با انرژی دستگاه تغییر نکند و یک رابطه غیرخطی داشته باشد. پیشنهاد می‌شود مطالعات بیش‌تری در راستای مشخص شدن رابطه بین مقدار دز پرتو ایکس و انرژی دستگاه پلاسمای کانونی انجام شود.

۳.۴ دز جذب شده در اندام‌های مرد و زن بالغ

با توجه به شکل‌های ۶ و ۷، با افزایش فاصله مقدار دز جذب شده اپراتور با دستگاه کاهش می‌یابد. چنان‌که مشاهده می‌شود، بالاترین دز در فاصله ۳۰ cm دستگاه به‌ترتیب برای مرد در اندام‌های بیضه به مقدار mGy ۲٫۰۸۹۰×۱۰^-۱۴، مثانه و

محتویات آن به مقدار $۲٫۶۶۱۳\times۱۰^{-۱۵}$ mGy و پوست به مقدار $۲٫۱۰۳۱\times۱۰^{-۱۵}$ mGy است. برای زن اندام‌های مثانه و محتویات آن به مقدار $۲٫۶۶۱۳\times۱۰^{-۱۵}$ mGy، پوست به مقدار $۲٫۱۲۳۷\times۱۰^{-۱۵}$ mGy و معده و رحم به‌طور مشترک به مقدار حدودی $۱٫۵۹۴۵\times۱۰^{-۱۵}$ mGy خواهد بود. علاوه بر این در فاصله ۲۳۰ cm بیش‌ترین مقدار دز جذبی در اندام‌ها مربوط به بیضه در فانتوم مرد به مقدار $۳٫۵۶۰۱\times۱۰^{-۱۶}$ mGy و پوست در فانتوم زن به مقدار $۱٫۱۰۰۴\times۱۰^{-۱۶}$ mGy می‌باشد.

فرایند کامپتون، با توجه به این‌که انرژی پرتو ایکس دستگاه IKPF در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ keV بوده، فرایند غالب است. از سوی دیگر احتمال رخ دادن فرایند کامپتون متناسب با چگالی الکترونی است؛ بنابراین بافت استخوان به‌دلیل چگالی الکترونی بالا و هم‌چنین عدد اتمی نسبتاً بالا نقش حفاظتی جدی برای مغز در برابر پرتوها ایجاد می‌کند و کاهش دز مغز به نقش حفاظتی استخوان جمجمه نسبت داده می‌شود. بیش‌ترین دز که مربوط به بیضه در مردان و مثانه در زنان می‌باشد می تواند به‌دلیل عدم قرارگیری این اندام‌ها در پشت بافت‌های دیگر و پرتوگیری مستقیم از منبع پرتو باشد. هم‌چنین در بافت‌های عقبی، همان‌طور که از نتایج بر می‌آید، به‌دلیل نقش حفاظتی بافت‌های جلویی بدن مقدار دز نسبتاً کم‌تر از بافت‌های جلویی می‌باشد.

محاسبات نشان می‌دهند که نسبت دز در فاصله ۲۳۰ cm و ۳۰ cm، به‌طور مثال در اندام بدون حفاظ مانند بیضه، کاملاً با کاهش دز مطابق با قانون عکس مجذور فاصله هم‌خوانی دارد. کم‌ترین دز توصیه شده توسط مؤسسه ICRP مربوط به اندام بیضه می‌باشد که در یک سال حداکثر می‌تواند به مقدار ۰٫۰۵ mGy دز برای پرتوکار جذب کند. با توجه به نتایج حاصل تعداد شات‌های مجاز برای یک پرتوکار در فاصله ۳۰ cm می‌تواند از مرتبه $۱۰^{۱۵}$ شات در سال باشد.

در مورد مقدار دز حاصل از هر شات در روی پنجره دستگاه نیاز به شبیه‌سازی و جایگزینی ضخامت مناسب‌تری از شیشه جهت مقاصد عکس‌برداری پرتو ایکس دستگاه در پژوهش‌های بعدی وجود دارد. از طرفی با توجه به مقدار نسبتاً بالای پرتو ایکس درست در بالای آند (۰٫۸ mSv/shot)، اندیشیدن به سازوکاری جهت جایگزینی پنجره یا محفظه‌ای در این ناحیه برای بهره‌برداری هر چه بیش‌تر از این منبع پالسی سریع و ارزان پرتو ایکس بسیار مفید خواهد بود. علاوه بر آن بررسی انواع دیگری از گازها نظیر کاربرد ترکیبی از آرگون و دوتریوم می‌تواند پژوهش‌گران را به دریافت دزهای قوی‌تر پرتو ایکس امیدوار سازد.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش دز ناشی از پرتو ایکس حاصل از دستگاه پلاسمای کانونی IKPF از نوع مدر و با انرژی کاری ۲٫۵ kJ با کاربرد قرص‌های TLD و سپس شبیه‌سازی با کد MCNP۵ در اندام‌های مختلف بدن انسان و در فواصل گوناگون مورد مطالعه قرار گرفت. طیف پرتو ایکس سخت حاصل از دستگاه IKPF با استفاده از دزیمتری با قرص‌های TLD و سپس به‌کمک شبیه‌سازی به دست آمد. بیشینه مقدار انرژی پرتو ایکس دستگاه در محدوده انرژی ۱۴۰ keV با پهنای باند ۱۰۰ تا ۲۰۰keV مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار جذب ایکس به‌ترتیب در اندام‌های بیضه، مثانه و محتویات آن و پوست در مرد و اندام‌های پوست، مثانه و محتویات آن و معده و رحم به‌طور مشترک در زن دیده می‌شود.

علاوه بر آن می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به دز نسبتاً بالای پرتوهای ایکس ناشی از دستگاه (۰٫۸ mSv در ۲۳ cm بالای آند) می‌توان از این دستگاه به‌عنوان منبع ایکس پالسی ارزان و مناسب جهت مصارف پزشکی و صنعتی استفاده کرد.

مراجع

1. J.W. Mather, *Formation of a high-density deuterium plasma focus*. The Physics of Fluids, **8(2)**, 366-377 (1965).
2. S. Kalaiselvi, et al., *Optimization of neon soft X-rays emission from 200 J fast miniature dense plasma focus device: A potential source for soft X-ray lithography*, Physics Letters A, **377(18)**, 1290-1296 (2013).
3. P. Knoblauch, et al., *Hard X-ray dosimetry of a plasma focus suitable for industrial radiography*, Radiation Physics and Chemistry, **145**, 39-42 (2018).
4. L. Mahe, *Soft X-rays from compact plasma focus*, PhD, School of Science, Nanyang Technological University, Singapore, (1996).
5. M. Noonbede, et al., *MCNP dose analysis for the iranian plasma focus neutron source*, Journal of Fusion Energy, **34(2)**, 315-319 (2015).
6. F. Rahmani, *Dose Calculation for Radiation Safety Assessment of Plasma Focus 2.5 kJ*, Journal of Fusion Energy, **35(2)**, 378-384 (2016).
7. H. Van Paassen, R. Vandre, R.S. White, *X-Ray Spectra from Dense Plasma Focus Devices*, The Physics of Fluids, **13(10),** 2606-2612 (1970).
8. M. Sohrabi, Z. Soltani, M. Habibi, *Hydrogen ion emission studies in 4π plasma focus device space*, Radiation Physics and Chemistry, 108836 (2020).
9. M. Sohrabi, M. Habibi, V. Ramezani, *Helium ion distributions in a 4 kJ plasma focus device by 1 mm-thick large-size polycarbonate detectors*, Physics Letters A, **378(48)**, 3631-3637 (2014).
10. A. Kanani, et al., *Hard X-ray dose intensity and spatial distribution in a plasma focus device using thermoluminescence dosimeters*, Pramana, **85(1)**, 149-159 (2015).
11. J. Hubbell, S. Seltzer, *X-ray mass attenuation coefficients*, NIST Standard Reference Database **126**. 2004. (2019).
12. V. Raspa, et al., *Plasma focus as a powerful hard X-ray source for ultrafast imaging of moving metallic objects*, Brazilian Journal of Physics, **34(4B)**, 1696-1699 (2004).
13. G. El-Aragi, et al., *Scattered ionizing radiations from low-energy focus plasma and radiation dosimetery assessment*, Pramana, **75(4)**, 727-736 (2010).
14. D.B. Pelowitz, *MCNPX user's manual, version 2.6. 0, LA-CP-07-1473*. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos (NM), (2008).
15. D. Krstić, D. Nikezić, *Input files with ORNL—mathematical phantoms of the human body for MCNP-4B*, Computer Physics Communications, **176(1)**, 33-37 (2007).
16. J. Ali, *Development and studies of a small plasma focus*, PhD thesis, University Technology Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia (1990).
17. S. Lee, A. Serban, *Dimensions and lifetime of the plasma focus pinch*, IEEE Transactions on Plasma Science, **24(3)**, 1101-1105 (1996).
18. S. Hussain, et al., *Comparative studies of X-ray emission from a plasma focus with different metal inserts at the anode tip*, Physics Letters A, **349(1-4)**, 236-244 (2006).
19. M. Khan, et al., *Imperative function of electron beams in low-energy plasma focus device*, Pramana, **85(6)**, 1207-1219 (2015).
20. R. Smith, A. Martell, R. Motekaitis, *NIST standard reference database 46*, NIST Critically Selected Stability Constants of Metal Complexes Database Ver, (2004. 2).
21. V. Raspa, et al., *Plasma focus based flash hard X-ray source in the 100 keV region with reproducible spectrum*, Physics Letters A, **374(46),** 4675-4677 (2010).
22. M.A. Tafreshi, E. Saeedzadeh, *Studies of the hard X-ray emission from the Filippov type plasma focus device, Dena*, Journal of Fusion Energy, **25(3)**, 207-211 (2006).

COPYRIGHTS
©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

استناد به این مقاله
سیده مریم نوری دوگاهی، سید محمدمهدی ابطحی، مرتضی حبیبی (۱۴۰۰)، بررسی توزیع دز پرتو ایکس در اندام‌های زن و مرد بالغ ناشی از عملکرد دستگاه پلاسمای کانونی ، ۹۷، ۶۲-۶۹

DOI: 10.24200/nst.2021.1297
Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1297.html