



اندازه‌گیری و محاسبه دز پرتو گاما در رآکتور زیربحرانی آب سبک پژوهشکده رآکتور - اصفهان

سجاد ظهیری کوپایی^{۱*}، محمدرضا عبدی^۱، مجید جلالی حاجی‌آبادی^۲

۱. دانشکده فیزیک، دانشگاه اصفهان، صندوق پستی: ۸۱۷۴۶۷۳۴۴۱، اصفهان - ایران

۲. پژوهشکده رآکتور، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی: ۸۱۴۶۵-۱۵۸۹، اصفهان - ایران

*Email: s.zahiri@sci.ui.ac.ir

مقاله‌ی فنی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۵/۱۹

چکیده

محاسبه و اندازه‌گیری دز گاما رآکتورهای هسته‌ای از لحاظ ایمنی، حفاظت و هم‌چنین استفاده جهت برنامه‌های طراحی و توسعه‌ی پیش روی سازمان‌ها حایز اهمیت است. به منظور دستیابی به این هدف روش اندازه‌گیری تجربی با دزسنج‌های گایگر - مولر دیجیتال RADOS و SMART-RAD و شبیه‌سازی به کار گرفته شده است. پیکربندی سه بعدی رآکتور زیربحرانی آب سبک پژوهشکده رآکتور اصفهان به منظور محاسبات دزسنجی گاما با کد MCNPX2.6 و تالی‌های شار سلولی F4 (cm²/تعداد ذره)، شار در یک نقطه F5 (cm²/تعداد ذره) و انرژی انباشته شده در سلول *F8 (MeV) شبیه‌سازی شد. قبل از محاسبات مربوط به دز گاما، محاسبه ضریب تکثیر انجام شد و نتیجه آن با مقدار گزارش شده در مشخصات فنی رآکتور مقایسه شد که اختلاف کم‌تر از ۶٪ داشت. پس از اطمینان از صحت شبیه‌سازی رآکتور، محاسبات برای رسیدن به پارامتر مورد نظر یعنی دز گاما (μSv/h) رآکتور LWSCR انجام شد که پس از تبدیلات و بهنجار کردن، نتایج حاصل از تالی F4 و F5 کم‌تر از ۵٪، F4 و *F8 کم‌تر از ۲٪ و *F8 و F5 کم‌تر از ۴٪ با یک‌دیگر اختلاف داشتند. برای اعتباربخشی و تأیید محاسبات حاصل از کد MCNPX2.6 نتایج به دست آمده با نتایج تجربی مقایسه گردید که در مقایسه با پژوهش‌های مشابه قبل، این درصد اختلاف منطقی و قابل قبول می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: رآکتور زیربحرانی آب سبک، کد MCNP، دزسنجی گاما، شبیه‌سازی رآکتور

Measurement and calculation of gamma radiation dose in the subcritical light water reactor of reactor research school-Isfahan

S. Zahiri Kopai^{*1}, M.R. Abdi¹, M. Jalali Hajiabadi²

1. Faculty of Physics, University of Isfahan, P.O.Box: 8174673441, Isfahan - Iran

2. Reactor Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O.Box: 81465-1589, Isfahan - Iran

Technical Paper

Received 19.4.2021, Accepted 10.8.2021

Abstract

Calculating and measuring the gamma dose of nuclear reactors is important in terms of safety and protection and is used for organizations' design and development programs. In order to achieve this goal, experimental measurement with RADOS and SMART-RAD digital dosimeters and calculations based on Monte Carlo code has been used. The three-dimensional geometry of the light water subcritical reactor of Isfahan Reactor Research School was simulated for gamma dosimetry calculation with the MCNPX2.6 code. The effective multiplication factor was estimated prior to dose calculation and revealed to be less than 6% different from the value reported in the reactor technical specifications. Analyses were performed to obtain the sought parameter, gamma dose (μSv/h), following the validation of the reactor simulation code. The F4 and F5, F4 and *F8, and *F8 and F5 tallies differed by less than 5%, 2%, and 4%, respectively. The difference between the measured and calculated values was found to be reasonable and acceptable compared to similar previous studies.

Keywords: Light water sub-critical reactor, MCNP code, Gamma dosimetry, Reactor simulation



۱. مقدمه

هم‌چنین در تحقیق انجام شده بر روی رآکتور تحقیقاتی جوزف استفان که توسط امبرزیک و همکارانش انجام شد به محاسبه آهنگ دز در این رآکتور پژوهشی به واسطه کد MCNP و ضرایب تبدیل شار به دز ANSI-ANS۶.۱.۱ و ICRP-۲۱ پرداختند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که زمانی که رآکتور با تمام توان خود در حال کار است دز معادل تجمعی برای گاما مقداری بین 3.4×10^3 Sv/h تا 3.6×10^5 Sv/h و کرمای گاما مقدار 3.1×10^3 Gy/h و 2.9×10^5 Gy/h برآورد شده است [۷]. هدف این پژوهش محاسبه دز گاما در رآکتور زیربحرانی آب سبک پژوهشگاه رآکتور اصفهان و هم‌چنین اندازه‌گیری تجربی به منظور تأیید محاسبات انجام شده با کد و صحت آزمایشی می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ رآکتور زیربحرانی آب سبک اصفهان

رآکتور زیربحرانی آب سبک (LWSCR) پژوهشگاه رآکتور اصفهان از نوع تانکی با کندکننده آب سبک می‌باشد که سوخت آن اورانیم فلزی با غنای طبیعی است که با لایه‌ای از نیکل پوشش داده شده است. رآکتور LWSCR شامل ۲۴۱ عدد میله آلومینیومی است که تعداد ۲۴۰ عدد میله سوخت آلومینیومی با شعاع داخلی ۳/۱ cm و شعاع خارجی ۳/۳ cm و ارتفاع ۲۱۰ cm و یک عدد میله مرکزی خالی برای قرار گرفتن چشمه که آرایش آن درون تانک استوانه‌ای رآکتور توسط دو شبکه نگه‌دارنده از جنس پلاکسی گلاس که در بالای تانک تعبیه شده است تعیین می‌گردد. داخل هر میله سوخت پنج عدد کپسول سوخت هر کدام به وزن ۲/۶۸ Kg با شعاع ۳ cm و ارتفاع ۲۰ cm که غلاف با ضخامت ۰/۳۵ mm را نیز شامل می‌شود، یک کپسول پلی‌اتیلنی و مابقی بالا لوله هوا، میله سوخت را تشکیل می‌دهد. با توجه به این‌که قطر خارجی قرص سوخت ۱ mm از قطر داخلی میله سوخت کم‌تر می‌باشد، یک گپ هوایی نیز به وجود می‌آید. جهت راه‌اندازی واکنش زنجیره‌ای شکافت و بهره‌برداری برای انجام آزمایش‌های مربوطه، چشمه نوترونی خارجی ^{252}Cf مورد استفاده قرار گرفته است. این رآکتور برای آموزش نیروی انسانی، انجام مطالعات پایه در زمینه فیزیک، راستی‌آزمایی کدهای محاسباتی هسته‌ای، آشنایی با مفاهیم و مسایل فیزیک رآکتور و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول ۱ مشخصات فنی این رآکتور و در شکل ۱ نمای کلی از رآکتور و ابعاد آن آورده شده است.

با توجه به این‌که انسان هیچ نوع احساسی برای درک تابش یون‌ساز مانند گاما ندارد لذا برای آشکارسازی و اندازه‌گیری تابش به وسایل اندازه‌گیری وابسته است. دزسنجی عبارت است از تعیین مقدار انرژی که جسم از میدان تابشی جذب می‌کند و کمیت‌هایی مانند دز جذب، کرما، دز معادل و دز مؤثر که میزان مشخصی از پرتو را اندازه‌گیری می‌کنند، کمیت‌های دزسنجی نامیده می‌شوند [۱]. به طور کلی برای محاسبه دز می‌توان از سه روش تحلیلی، تجربی و شبیه‌سازی استفاده کرد. در روش تحلیلی با توجه به نوع مسأله از روابط موجود جهت محاسبه دز استفاده می‌شود. در روش تجربی از دزسنج‌ها جهت اندازه‌گیری دز در نقاط مورد نظر استفاده می‌شود که دزسنج ابزار آشکارسازی پرتو است که قادر به اندازه‌گیری یکی از کمیت‌های پرتو یون‌ساز باشد [۲] و در نهایت در روش شبیه‌سازی می‌توان از کدها و نرم‌افزارهای مختلف مانند MCNP جهت محاسبه دز استفاده کرد. با توجه به این‌که جهت مطالعات و بررسی پرتوهای تابش شده از منابع پرتوزا مانند رآکتورها نیاز به آشکارسازی و اندازه‌گیری پرتوها داریم [۳] لذا موضوع دزسنجی در تأسیسات هسته‌ای به خصوص رآکتور دارای اهمیت و ضرورت می‌باشد. در زمینه محاسبه و اندازه‌گیری دز گاما رآکتورهای هسته‌ای در شرایط و موقعیت‌های مختلف تلاش‌های متعددی توسط محققان انجام شده است. در تحقیقی ماریترا^۱ و همکارانش به اندازه‌گیری و محاسبه دز گاما دریافتی توسط پرسنل در هنگام انجام تست Sipping در رآکتور پژوهشی استخری برزیل پرداختند که اختلاف بین نتایج تجربی و محاسباتی با کد MCNPX را کم‌تر از ۳۱ درصد برآورد کردند [۴]. غلام‌زاده و باورنگین به دزسنجی نوترون و گاما در حین و بعد از حادثه از دست دادن خنک‌کننده (LOCA) به علت شکست در لوله ورودی یا خروجی خنک‌کننده با استفاده از نرم‌افزار MCNP بر روی رآکتور پژوهشی ۵ MW تهران پرداختند و دریافتند که با کاهش سطح آب بالای قلب دز افزایش می‌یابد هم‌چنین ۲۴ ساعت بعد از LOCA دز گاما به ۰/۱ مقدار اولیه خود کاهش می‌یابد [۵]. ند ژوبی^۲ در مطالعه‌ای به محاسبه دز نوترون و گاما در رآکتور زیربحرانی دانشگاه ملک عبدالعزیز عربستان پرداخت که محاسبات و شبیه‌سازی با استفاده از کد MCNP۵ انجام شد که مقدار دز در حالت کارکرد نرمال رآکتور مقداری بین 1.96×10^{-4} μSv و 7.5×10^{-1} $\mu\text{Sv/h}$ و برای حالت روشن و خاموش شدن^۳ رآکتور مقداری بین $7.45 \mu\text{Sv/h}$ و $2.99 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ تخمین زد [۶].

1. Maritza
2. Ned Xoubi
3. Start-Up/Shut-Down Mode



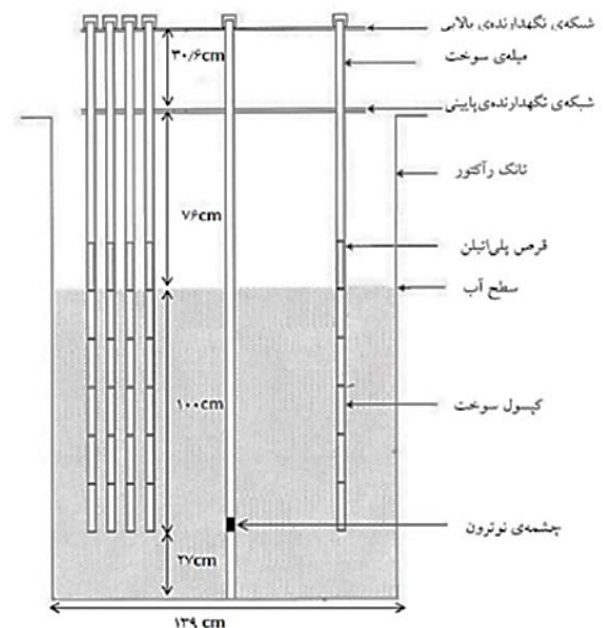
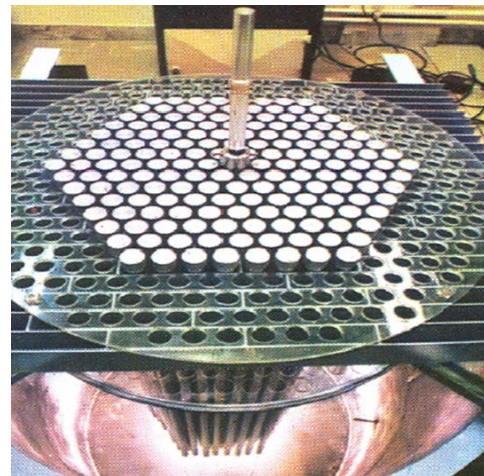
۲.۲ شبیه‌سازی با کد MCNP

یکی از روش‌های شبیه‌سازی و محاسبه دز رآکتور، روش شبیه‌سازی مونت کارلو می‌باشد که یک روش استاندارد و با دقت کافی در ترابرد ذرات است و امکان دزسنجی رآکتور را با کم‌ترین هزینه و خطرات احتمالی فراهم می‌کند. در این پژوهش از کد MCNPX۲.۶ استفاده شده است و مشخصات هندسی، مواد به کار رفته و اطلاعات مورد نیاز مانند چشمه، نوع خروجی و روش کاهش واریانس مناسب در فایل ورودی تعریف شده است [۸]. برای شبیه‌سازی رآکتور ابتدا باید دستگاه مختصات مناسب و ساده انتخاب کرد که در این شبیه‌سازی یک دستگاه دکارتی راست‌گرد که مبدأ آن در مرکز قلب رآکتور و محور Z آن منطبق بر محور استوانه قلب رآکتور است را در نظر گرفتیم. پس از انتخاب دستگاه مختصات مناسب، لازم است سطح‌ها و سلول‌های مختلف رآکتور تشخیص، ایجاد و شماره‌گذاری شوند. اغلب سلول‌های استفاده شده در این کد، سلول‌های استوانه‌ای هم‌محور و هم‌مرکز هستند. با توجه به گام شبکه و شعاع تانک رآکتور پس از انجام محاسبات مشخص شد که در هر یک از راستاهای X و Y فقط ۱۷ شش‌ضلعی داخل تانک رآکتور جا می‌گیرد به همین دلیل یک آرایه ۱۷×۱۷ انتخاب شد. همچنین با توجه به این‌که هر شبکه به صورت شش‌ضلعی می‌باشد با $lat=2$ قرار داده شد. سپس با توجه به آرایش عناصر در قلب رآکتور، هر عنصر با استفاده از دستور fill داخل شبکه قلب قرار داده می‌شود، به عبارت دیگر شبکه قلب رآکتور با توجه به آرایش آن توسط universe ها پر می‌شود. همچنین با توجه به این‌که طیف شکافت چشمه اصلی رآکتور یعنی کالیفرنیم با طیف شکافت وات^۱ تطابق دارد و مشابه هم هستند، از این طیف برای تعریف چشمه استفاده شد. برای محاسبه دز گاما از تالی‌های شار سلولی $F4$ (تعداد ذره، شار در یک نقطه $F5$ (تعداد ذره)، به همراه کارت‌های DE و DF و ضرایب تبدیل شار به دز ANSI/ANS۶.۱.۱ و انرژی انباشته شده در سلول $F8$ (MeV) استفاده شده است. در صورتی که از تالی $F4$ و $F5$ و ضرایب DE و DF برای محاسبه دز استفاده کنیم، با توجه به ضرایب استفاده شده برای تبدیل شار به دز، در نهایت آهنگ دز را بر حسب rem/hr برای یک ذره داریم که برای یافتن جواب نهایی باید آن را بهنجار کرد، یعنی این خروجی را در شدت چشمه ضرب نمود که از رابطه ۱ برای محاسبه شدت چشمه در رآکتور هسته‌ای استفاده می‌کنیم.

$$S = \frac{P \left(\frac{J}{s} \right) \times v \left(\frac{n}{f} \right)}{Q \left(\frac{MeV}{f} \right) \times 1.602 \times 10^{-13} - \left(\frac{J}{MeV} \right)} n/s \quad (1)$$

جدول ۱. مشخصات فنی رآکتور زیربحرانی

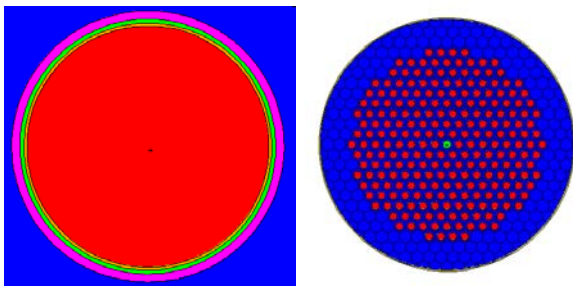
مشخصه	توضیحات
نوع شبکه	شش‌ضلعی
گام شبکه	۴.۷ cm
شعاع قلب	۴۰ cm
ارتفاع قلب	۱۰۰ cm
شعاع تانک	۶۸ cm
ارتفاع تانک	۲۰۰ cm
وزن سوخت	۳۲۱۶ Kg
شار نوترون حرارتی	$1.0^4 n/cm^2.sec$
ضریب تکثیر مؤثر	۰.۸۹۵
نسبت کندکننده به سوخت	۱.۵



شکل ۱. نمای کلی رآکتور زیربحرانی آب سبک.



سانتی متر نسبت به کف تانک رآکتور با دزسنج اندازه‌گیری گردید. نقاط ۱ و ۲ و ۳ در شکل ۴ به ترتیب نقاط مورد نظر مجاور تانک و نقاط ۴ و ۵ نقاط روی میله برای اندازه‌گیری دز می‌باشند. در مرحله اول فقط قسمت زیر میله‌های سوخت یعنی ۲۷ cm آب در تانک بود و در هر مرحله با استفاده از سطح‌سنج و سیستم ورودی آب، ۱۰ cm به سطح آب اضافه گردید و اندازه‌گیری تا جایی که آب تا بالای سوخت برسد، تکرار شد. با توجه به سرعت پایین دزسنج SMART-RAD در رسیدن به دزهای بالا و موقعیت حساس مکان دزسنجی در مجاور تانک از نظر خطرات تابشی، دزسنجی در سه نقطه مجاور تانک فقط با دزسنج RADOS انجام شد.



شکل ۲. نمای از بالای رآکتور زیربحرانی آب سبک و میله سوخت.



شکل ۳. دزسنج‌های مورد استفاده.

که در آن P ، U و Q به ترتیب توان رآکتور بر حسب وات (برای رآکتورهای زیربحرانی در حدود میلی- میکرووات)، میانگین نوترون تولیدی در هر شکافت (۲-۳) و گرمای آزاد شده در هر شکافت (مقداری بین ۱۸۰ تا ۲۰۰ مگا الکترون ولت) است.

در شبیه‌سازی این رآکتور به منظور کاهش زمان محاسبات و خطای نسبی R از کارت DXT جهت کاهش واریانس استفاده کردیم. با توجه به این نکته که خطای نسبی R با $1/\sqrt{N}$ متناسب است و از طرفی نیز زمان کل محاسبات T ، با تعداد ذرات متناسب است، لذا طبق رابطه $R=C/\sqrt{T}$ برای کاهش خطا یا باید زمان T را افزایش و یا ضریب C را کاهش داد که روش‌های کاهش واریانس باعث می‌شوند تا نمونه‌برداری از فضای فاز به گونه‌ای تغییر کند که تعداد تاریخچه‌های سهیم در مقدار تالی افزایش یابد که این کار باعث کاهش پارامتر C می‌شود. با کارت DXT یک کره فرضی در اطراف نقطه مورد نظر دزسنجی تعریف کردیم که باعث می‌شود ذرات به صورت جبری از محل چشمه به این کره فرضی سوق داده شوند. شکل ۲ مقطعی از هندسه‌ی رآکتور را که با استفاده از رابط گرافیکی ویژوال ادیتور رسم شده‌اند نشان می‌دهد.

۳.۲ اندازه‌گیری تجربی

برای انجام دزسنجی رآکتور آب سبک زیربحرانی پژوهشکده رآکتور اصفهان از دزسنج‌های RADOS مدل RDS-۱۱۰ و SMART-RAD که در شکل ۳ مشاهده می‌شود استفاده گردید. این دزسنج‌ها از نوع گایگر-مولر هستند که بر اساس پدیده تکثیر یونها در گاز یا پدیده‌ی بهمنی عمل می‌کنند. مشخصات کلی این دزسنج‌ها را در جدول ۲ آورده شده است. برای این کار دز گاما یک بار در راستای شعاعی بر روی قلب رآکتور، در دو نقطه یعنی نقطه مرکز و نقطه انتهای آخرین میله سوخت یعنی حدود شعاعی ۴۰ cm و یک بار در راستای ارتفاع، مجاور تانک در سه نقطه یعنی در ارتفاع‌های ۲۷، ۷۷ و ۱۲۷

جدول ۲. مشخصات دزسنج‌ها

SMART-RAD	RADOS	مشخصه
تیوب گایگر-مولر با پنجره نازک میکا	تیوب گایگر-مولر	آشکارساز
آهنگ دز ۰٫۱ uSv/h تا ۹۹٫۹۹ mSv/h دز ۱ uSv تا ۱۰ Sv	آهنگ دز ۰٫۰۵ uSv/h تا ۹۹٫۹۹ mSv/h دز ۰٫۰۰۱ mSv تا ۹۹٫۹۹ mSv	بازه اندازه‌گیری
±10 % typical (NIST), ±15 % max (Referenced to Cs-137)	±5 % of the reading in Cs-137 exposure, at 300 uSv/h, +20°C	دقت
گاما و ایکس	گاما و ایکس، بتا با انرژی ۵۰keV تا ۳ MeV با پروب خارجی	تابش‌های قابل آشکارسازی
۵۵×۱۰۰×۱۳٫۴ mm	۴۲×۱۸۵×۸۸ mm	ابعاد
۵۵ g	۵۷۰ g بدون باتری، ۶۵۰ g با باتری	وزن



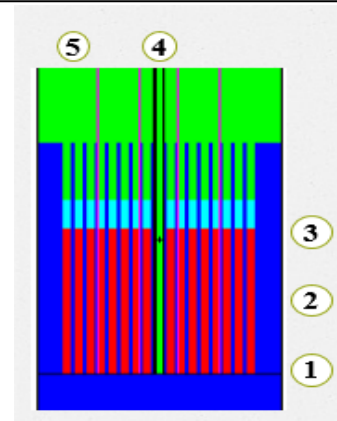
واقعیت، عدم امکان دزسنجی دقیق در نقاط و حدودی بودن آن به علت ابعاد بزرگ دزسنج مورد استفاده، حجم آب اطراف قلب، عدم توانایی در مدل‌سازی همه فاکتورهای جزئی، فعال شدن مواد به کار رفته در ساخت از جمله فولاد ضد زنگ، آلومینیوم و سایر مواد با گذشت مدت زمان زیاد از زمان استفاده و ساخت می‌باشد، علاوه بر این موارد در هنگام نرمالیزه کردن نتایج حاصل از کد با استفاده از رابطه شدت چشمه که برای مسایل رآکتور از آن استفاده می‌شود، به علت تقریبی بودن برخی از پارامترهای رابطه مانند انرژی یا تعداد نوترون آزاد شده به ازای هر شکافت، خود رابطه نیز باعث ایجاد درصدی خطا خواهد شد. همچنین لازم به ذکر است در انجام این پژوهش با محدودیت‌هایی از جمله عدم تکرار بیش‌تر اندازه‌گیری‌ها برای رسیدن به نتایج با دقت بالاتر، به دلیل موقعیت حساس اندازه‌گیری از نظر خطرات تابشی در مجاورت تانک رآکتور، عدم دسترسی به ابزار مناسب با قابلیت اتصال از راه دور به سیستم جهت اندازه‌گیری در گام‌های مختلف و در درون قلب مواجه بودیم.

جدول ۳. مقادیر ضریب تکثیر

نام نویسنده و سال تحقیق	ضریب تکثیر
ارکانی و همکاران [۹]-۲۰۱۷	0.877 ± 0.0005
ارکانی و همکاران [۱۰]-۲۰۱۶	0.873 ± 0.0004
نصیری مفخم و همکاران [۱۱]-۲۰۱۲	0.847 ± 0.0004
شیروانی [۱۲]-۲۰۱۱	0.826 ± 0.0005
محاسبه شده در این تحقیق	0.836 ± 0.0001
گزارش شده در مدارک فنی	۰.۸۹۵



شکل ۵. تغییرات ضریب تکثیر مؤثر بر حسب ارتفاع آب.



شکل ۴. موقعیت‌های دزسنجی.

۳. نتایج و بحث

۳.۱ محاسبه ضریب تکثیر مؤثر

پس از تعریف هندسه و تکمیل فایل ورودی و اطمینان از درستی هندسه، جهت بررسی درستی آن از نظر هسته‌ای نیز، به محاسبه ضریب تکثیر مؤثر که به نوع چیدمان سوخت، ابعاد و مواد درون قلب بستگی دارد پرداخته شد و برای دو حالت مختلف با چشمه و بدون چشمه خارجی کالیفرنیم در قلب رآکتور، تغییرات ضریب تکثیر مؤثر بر حسب ارتفاع آب محاسبه گردید که طبق انتظار همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع آب رآکتور، ضریب تکثیر مؤثر تا ارتفاع خاصی زیاد شده است و پس از آن تغییر قابل ملاحظه‌ای ندارد [۹].

همچنین نتیجه حاصل برای ضریب تکثیر به دست آمده در این پژوهش با پژوهش‌های قبل مقایسه شد که در جدول ۳ قابل مشاهده است.

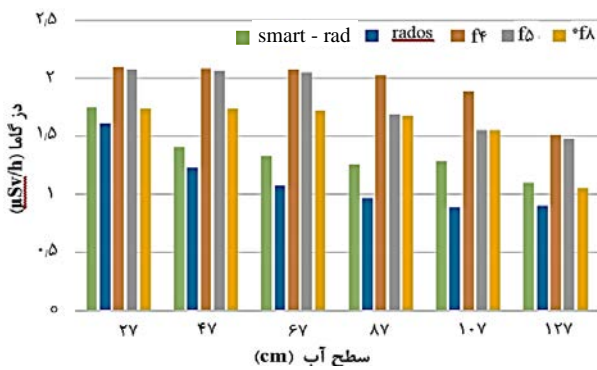
اختلاف اندک بین نتیجه حاصل برای ضریب تکثیر به دست آمده در این پژوهش با پژوهش‌های قبل به علت اختلاف در چشمه استفاده شده و اختلاف در نسخه MCNP مورد استفاده می‌باشد.

۳.۲ مقایسه نتایج تجربی و شبیه‌سازی

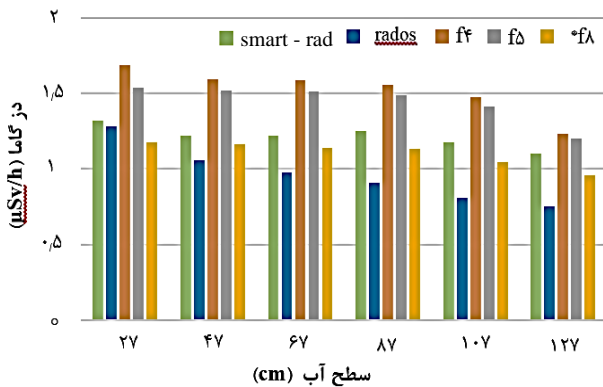
با مقایسه نتایج تجربی و محاسباتی برای هر دو دزسنج و هر سه تالی F_4 ، F_5 و F_8 میانگین درصد اختلاف نتایج تجربی و محاسباتی را در جدول ۴ مشاهده می‌کنیم. همچنین در شکل‌های ۶ تا ۱۰ نتایج نهایی با استفاده از سه تالی (بر حسب $\mu\text{Sv/h}$) و دو دزسنج در سه نقطه‌ی مجاورت تانک (شکل‌های ۶، ۷ و ۸) و دو نقطه روی میله‌های سوخت (شکل‌های ۹ و ۱۰) که دزسنجی انجام شده است، رسم شده‌اند.

اختلاف موجود بین نتایج تجربی و محاسباتی با کد MCNPX۲.۶ به غیر از خطاهای اندازه‌گیری و خطای دزسنج‌ها دلایل متفاوتی از جمله آماری بودن برهم‌کنش پرتوها، احتمال تفاوت اندک در مواد به کار رفته در شبیه‌سازی و





شکل ۹. دز گاما بر حسب ارتفاع آب تانک در نقطه ۴.



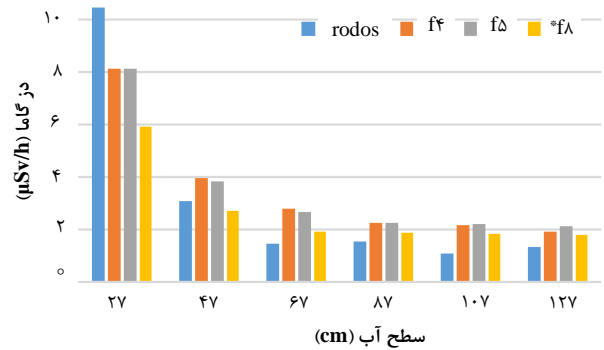
شکل ۱۰. دز گاما بر حسب ارتفاع آب تانک در نقطه ۵.

۴. نتیجه‌گیری

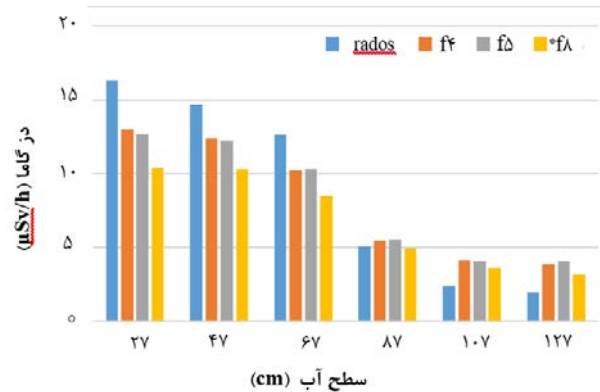
در این پژوهش، دز گامای رآکتور آب سبک زیربحرانی پژوهشکده رآکتور اصفهان اندازه‌گیری و محاسبه شد. مقدار بیشینه ضریب تکثیر مؤثر در حضور چشمه خارجی 0.836 ± 0.0016 به دست آمد که با مقدار گزارش شده آن در مشخصات فنی رآکتور کمتر از ۰.۶٪ و با نتایج مشابه برای ضریب تکثیر که با کد MCNP در پژوهش‌های قبل انجام شده است به طور متوسط کمتر از ۳٪ اختلاف دارد. در ادامه به مقایسه نتایج حاصل از سه تالی پرداختیم که بسیار به یکدیگر نزدیک بودند و اختلاف اندکی بین نتایج با تالی‌های مختلف مورد استفاده دیده شد. نتایج حاصل از تالی F۴ و F۵ که از آن‌ها به منظور محاسبه دز استفاده کردیم، کمتر از ۵٪، F۴ و F۸* کمتر از ۲٪ و F۵ و F۸* کمتر از ۴٪ با یکدیگر اختلاف دارند. برای اعتباربخشی و تأیید محاسبات حاصل از MCNPX۲.۶ نتایج به دست آمده از آن با نتایج تجربی مقایسه گردید و میانگین اختلاف بین آن‌ها کمتر از ۳.۴٪ مشاهده شد که با مقایسه با پژوهش‌های مشابه این درصد اختلاف منطقی و قابل قبول می‌باشد. همچنین بر پایه یافته‌های علمی نتیجه‌گیری‌هایی حاصل شد از جمله این‌که در مرحله‌ی تجربی که به منظور صحت‌آزمایی و تأیید محاسبات و شبیه‌سازی‌ها انجام شد

جدول ۴. مقایسه نتایج تجربی و شبیه‌سازی دز گاما رآکتور LWSCR

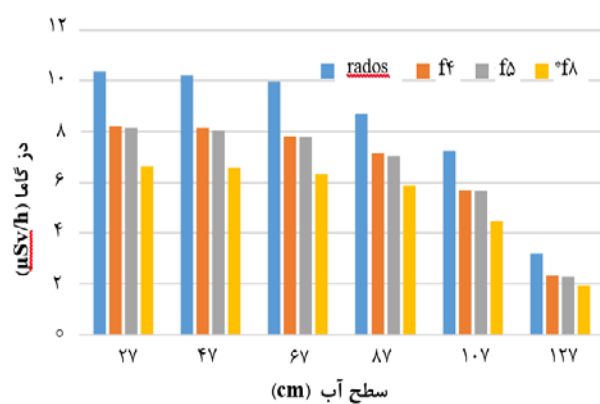
تالی	دز سنج	میانگین درصد اختلاف نتایج تجربی و محاسباتی
F۴	SMART-RAD	۳۲.۱۸٪
	RADOS	۳۳.۶۷٪
F۵	SMART-RAD	۲۷.۶۹٪
	RADOS	۳۱.۴۶٪
*F۸	SMART-RAD	۲۹.۵۲٪
	RADOS	۳۳.۷۸٪



شکل ۶. دز گاما بر حسب ارتفاع آب تانک در نقطه ۱.



شکل ۷. دز گاما بر حسب ارتفاع آب تانک در نقطه ۲.



شکل ۸. دز گاما بر حسب ارتفاع آب تانک در نقطه ۳.



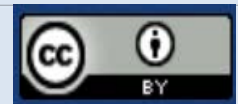
مراجع

1. J. Bennet, R. Thomson, *Elements of nuclear power*, 3rd Edition, American Nuclear, (1989).
2. M. Hoseini Pouya, *Basics of Dosimetry in External Radiation*, (Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, 2015), (In Persian).
3. M. Hajizadeh Safar, *Fundamentals of Detection and Dosimetry of Ionizing Radiation*, (Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, 2014), (In Persian).
4. Maritza R. Gual, et al., *Dosimetry assessment during the sipping test in the IPR-R1 TRIGA reactor*, *Progress in Nuclear Energy*, 238-245 (2016).
5. Z. Gholamzadeh, E. Bavarnegin, *Gamma and neutron dosimetry of Tehran Research Reactor containment during and after LOCA accident*, *Applied Radiation and Isotopes*, **145**, 59-67 (2019).
6. N. Xoubi, *Neutrons and Gamma-Ray dose calculations in subcritical reactor facility using MCNP*, *Atoms*, **4**, 1-9 (2016).
7. K. Ambrozic, G. Zerovnik, L. Snoj, *Computational analysis of the dose rates at JSI TRIGA reactor irradiation facilities*, *Applied Radiation and Isotopes*, **130**, 140-152 (2017).
8. D.B Pelowitz, *MCNPXTM User's Manual Version 2.6.0*, LA-CP-07-1473, Los Alamos National Laboratory, (2008).
9. M. Arkani, et al, *Prompt Neutron Decay Constant in Esfahan Light Water Subcritical Reactor (ELWSCR) Comparison of Rossi- α Experiment and Monte Carlo Simulation*, *J. of Nuclear Sci. and Tech*, **80**, 18-24 (2017).
10. M. Arkani, et al, *Measurement of Prompt Neutron Decay Constant in Esfahan Light Water Subcritical Reactor Utilizing Feynman- α Analysis*, *J. of Nuclear Sci. and Tech*, **76**, 1-7 (2016).
11. N. Nasiri Mofkham, Z. Nasr Azadani, J. Sadegh zade, *Determination of physical reactor based on experimental and theoretical results*, *J. Nucl. Sci. Tech*, **60(1)**, 55-60 (2012).
12. Sh. Shirvani, *M.Sc. Thesis*, Islamic Azad University of Central Tehran Branch, (2011).

دزسنج RADOS مدل RDS-۱۱۰ پاسخ سریع‌تر و مناسب‌تری نسبت به دزسنج SMART-RAD داشت. در مرحله شبیه‌سازی با اعمال کاهش واریانس با کارت DXT با nps های یکسان توانستیم مقدار خطا را تقریباً به طور میانگین از ۳۰٪ به نزدیک به ۲٪ کاهش دهیم. همچنین با استفاده از این کارت می‌توانیم با nps کم‌تر و در نتیجه زمان کم‌تر برای اجرای برنامه، به نتیجه مطلوب و مورد نظر برسیم.

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

سجاد ظهیری کوپایی، محمدرضا عبدی، مجید جلالی حاجی‌آبادی (۱۴۰۱)، اندازه‌گیری و محاسبه دز پرتو گاما در رآکتور زیربحرانی آب سبک پژوهشکده رآکتور- اصفهان، **۱۰۱**، ۱۸۷-۱۸۱

DOI: 10.24200/nst.2022.1460

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1460.html

