



دزسنجی بافت‌های بدن پرتوکاران در اطراف قلب راکتور HWZPR با سوخت اکسید اورانیوم

نور اشرف‌الدین، سید ابوالحسن*؛ شایسته، محسن

دانشگاه جامع امام حسین(ع)، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده:

راکتور HWZPR یک راکتور تحقیقاتی است که برای انجام آزمایش‌های صفر قدرت طراحی شده است. پرتوکاران برای جابجایی نمونه‌های آزمایشگاهی و میله‌های سوخت این راکتور در معرض دز بالای نوترون و گاما قرار دارند بنابراین اندازه‌گیری میزان پرتوگیری بافت‌های مختلف بدن پرتوکاران از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این مقاله، محاسبات دزسنجی بافت‌های مختلف بدن در راکتور HWZPR به ازای گام‌های مختلف شبکه مربعی مجتمع‌های سوخت (UO_2)، انجام شد. میزان دز جذبی دریافتی بافت‌های مختلف بدن با یکدیگر مقایسه شد و نتایج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: دزسنجی، بافت بدن، راکتور، HWZPR، سوخت UO_2

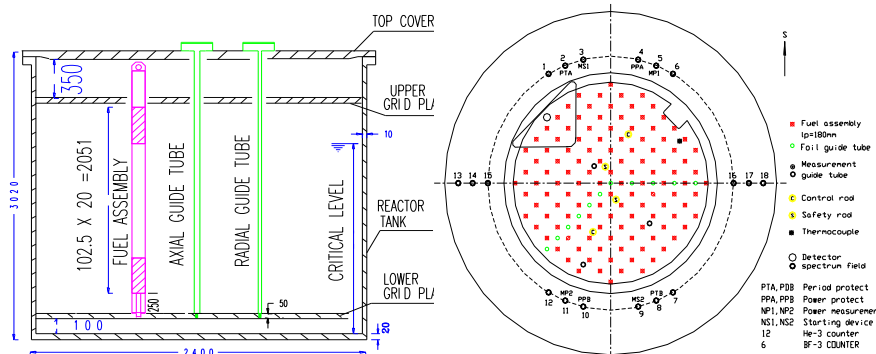
مقدمه:

راکتور HWZPR برای انجام آزمایش‌های صفر قدرت طراحی شده است. در این راکتور امکان دسترسی به مجموعه تانک و قلب برای تغییر چیدمان میله‌های سوخت در راستای اندازه‌گیری و تحقیق در زمینه پارامترهای مختلف فیزیکی راکتور و همچنین امکان پرتودهی نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های مختلف وجود دارد. با توجه به ابعاد بزرگ راکتور و عدم وجود بازتابنده در بالای قلب راکتور، میزان نشت پرتوها از راکتور بسیار بالا می‌باشد. هنگام روشن بودن راکتور HWZPR و قرار گرفتن راکتور در توان مورد نظر، سالن راکتور منطقه ممنوعه از حیث تقسیم‌بندی مناطق بر طبق استاندارد BSS-115 می‌باشد. در این حالت دز محیطی در راهروهای اطراف سالن و اتاق کنترل نیز بالا می‌رود. اپراتورها به علت این که راکتور فاقد سیستم انتقال نمونه می‌باشد و همچنین نیاز به دسترسی به قلب راکتور برای انجام آزمایش‌های مختلف و جابجایی نمونه‌های آزمایشگاهی و میله‌های سوخت در معرض دز بالای نوترون و گاما قرار می‌گیرند. مستعمل بودن تجهیزات مونیتورینگ پرتوها به ویژه نوترون‌ها نیز موجب افزایش زمان حضور پرسنل در محیط راکتور و افزایش میزان دز دریافتی می‌شود. از جمله دغدغه‌های مهندسان و پرتوکاران این است که به چه میزان در برابر پرتوها قرار دارند و چه بافت‌هایی از بدنشان بیشتر در معرض آسیب قرار دارند. بنابراین برای بهبود شرایط ایمنی و حفاظت پرتوکاران، نیاز به انجام محاسبات دزیمتری است. در این مقاله محاسبات دزسنجی در شرایطی که تمامی سوخت اورانیوم فلزی راکتور

HWZPR با مجتمع‌های سوخت اکسید اورانیوم جایگزین شده، انجام شده است. برای این کار ابتدا با استفاده از کد MCNPX، فانتم ریاضی بدن انسان بالغ با آخرین تصحیحات کمیته MIRD و همچنین راکتور HWZPR شبیه‌سازی - گردید [۱-۴]، سپس محاسبات دزیمتری بافت‌های مختلف فانتم بدن انسان در شرایطی که این فانتم درست در بالای قلب راکتور HWZPR شبیه‌سازی شده و به ازای شرایط مختلف سوخت گذاری این راکتور انجام شد. از این نتایج می‌توان برای بهینه‌سازی شرایط ایمنی محیط کار پرتوکاران و تجهیز آنان به لوازم ایمنی مورد نیاز استفاده کرد.

راکتور صفر قدرت آب سنگین

راکتور صفر قدرت آب سنگین (HWZPR) از جمله معدود راکتورهای تحقیقاتی موجود در کشور است. این راکتور از نوع راکتورهای تانکی با کندکننده آب سنگین و سوخت اورانیم طبیعی فلزی میله‌ای شکل است. تانک راکتور از جنس آلومینیوم به شعاع ۱۲۰cm و ارتفاع ۳۰۲cm می‌باشد. با طراحی دو صفحه مشبک نگهدارنده میله‌های سوخت، این راکتور قابلیت بهره برداری در چهار گام مختلف ۱۲/۷۳، ۱۴/۱۴، ۱۸ و ۲۰ سانتیمتر را دارا است. در حال حاضر، گام شبکه برابر ۱۸cm است. این راکتور دارای دو عدد میله ایمنی از جنس کادمیم و دو عدد میله کنترل از جنس آهن ضد زنگ و همچنین بازتابنده جانبی گرافیتی به ضخامت ۷۵cm و بازتابنده تحتانی آب سنگین با ارتفاع ۳۰cm می‌باشد. فضای بالای قلب با گاز نیتروژن پر شده و لذا این راکتور فاقد بازتابنده فوقانی است. حداکثر توان راکتور برابر با ۱۰۰ وات در شار نوترونی $10^9 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ است. در شکل ۱ نمای بالایی و همچنین ابعاد هندسی راکتور، موقعیت گاید تیوب‌ها و میله‌های سوخت نسبت به یکدیگر نشان داده شده است [۴،۵].



شکل ۱: نمای بالایی و نمای جانبی از راکتور صفر قدرت آب سنگین [۴،۵]

مجتمع‌های سوخت اکسید اورانیم طبیعی



در این مقاله محاسبات دزسنجی در شرایطی انجام شد که تمامی سوخت اورانیوم فلزی راکتور HWZPR با مجتمع‌های سوخت اکسید اورانیوم جایگزین شده شده است. مشخصات مجتمع‌های سوخت اکسید اورانیوم طبیعی در جدول زیر آورده شدند [۴]:

جدول ۱: مشخصات مجتمع‌های سوخت اکسید اورانیوم طبیعی [۴]

Fuel material	UO ₂
Enrichment	Natural(0.712%U ²³⁵)
Density(gr/Cm3)	10.14
Fuel pellet diameter(mm)	11.48
Number of fuel pins in each fuel assembly	18
Outside diameter of fuel rod channel(mm)	13.6
Fuel assembly diameter (mm)	79.2
Active height of pin(Cm)	215
Material of clad	Zr-1%Nb
(mm) Thickness of fuel pin cladding	0.95
Outer diameter of clad(mm)	13.6
Gap thickness between fuel and clad(mm)	0.11

بررسی گام بهینه در راکتور با مجتمع‌های سوخت اکسید اورانیوم

با استفاده از کد MCNP-4C [۶]، محاسبات گام (فاصله قرارگیری مجتمع‌های سوخت از همدیگر) بهینه راکتور HWZPR به ازای شبکه‌های مربعی و هگزاگونال قرارگیری مجتمع‌های سوخت اکسید اورانیوم، انجام شد [۴]. نتایج به ازای شبکه‌های مربعی و هگزاگونال به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است [۴].

جدول ۲: نتایج ارتفاع بحرانی برحسب گام‌های مختلف شبکه مربعی

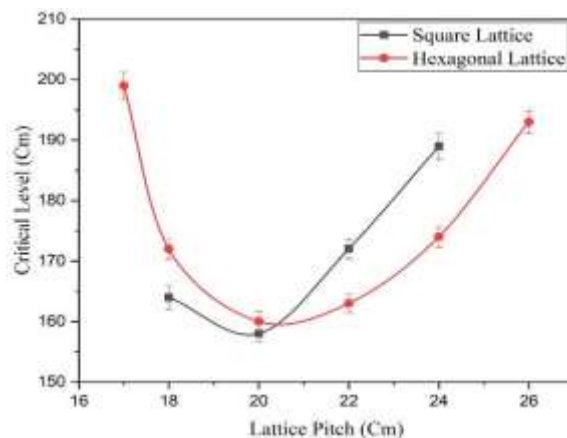
گام (cm)	ارتفاع بحرانی در شبکه مربعی (cm)
۱۷	-
۱۸	۱۶۴ ± ۶
۲۰	۱۵۸ ± ۵
۲۲	۱۷۲ ± ۶
۲۴	۱۸۹ ± ۲
۲۶	-



جدول ۳: ارتفاع بحرانی برحسب گام های مختلف شبکه هگزاگونال

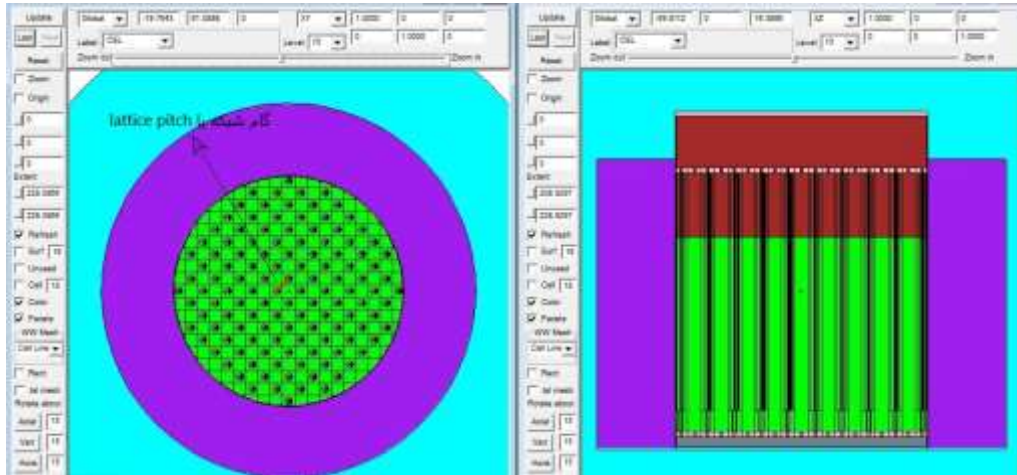
گام (cm)	ارتفاع بحرانی در شبکه هگزاگونال (cm)
۱۷	۱۹۹ ± ۳
۱۸	۱۷۲ ± ۸
۲۰	۱۶۰ ± ۶۷
۲۲	۱۶۳ ± ۵۳
۲۴	۱۷۴ ± ۶۸
۲۶	۱۹۳ ± ۹

نتایج مربوط به محاسبات گام بهینه به ازای دو شبکه سوخت گذاری مربعی و هگزاگونال در نمودار زیر مقایسه شده است:



شکل ۲: نمودار ارتفاع بحرانی در گام های مختلف در دو شبکه مربعی و هگزاگونال

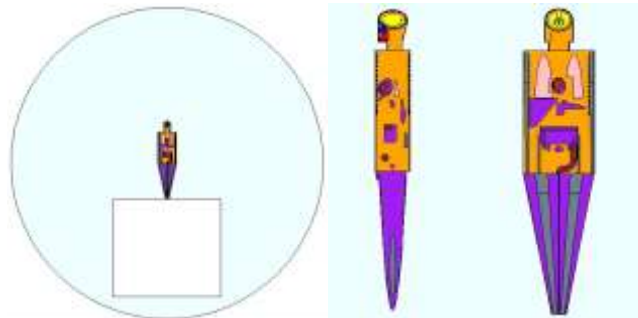
با توجه به نمودار فوق، با تهیه مجتمع های سوخت UO_2 به تعداد ۱۱۸ عدد مجتمع و ساخت صفحه مشبک بالایی قلب راکتور با گام شبکه ۱۸cm مربعی، راکتور را در ارتفاع آب معادل با ۱۶۵cm (حدود ۷cm کمتر از شبکه هگزاگونال) به حالت بحرانی رسانده و از راکتور بهره برداری کرد. نماهایی از راکتور HWZPR با شبکه مربعی مجتمع های سوخت اکسید اورانیوم در گام ۱۸cm در شکل زیر آورده شده است [۴]. بنابراین محاسبات دزسنجی بافت های مختلف بدن برای راکتور HWZPR با شبکه مربعی مجتمع های سوخت اکسید اورانیوم و به ازای گام های ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴ سانتیمتر انجام داده شد.



شکل ۳: نماهایی از راکتور به ازای شبکه مربعی مجتمع‌های سوخت در گام ۱۸cm

فانتوم بدن انسان

در این مقاله یک مدل ریاضی دقیق از بدن انسان بر اساس آخرین تصحیحات فانتوم ریاضی بدن انسان که شامل تصحیحات مدل سر و گردن بر اساس گزارش‌های شماره ۱۵ و ۱۹ کمیته MIRD در سال ۱۹۹۹ و همچنین تصحیحات بافت‌های مختلف بدن فانتوم جدید ORNL بر اساس گزارش ICRP89 در سال ۲۰۰۶ به کار گرفته شد تا محاسبات دزسنجی دقیق‌تر انجام شود. در شکل ۴ نماهایی از این فانتوم ریاضی آورده شده است [۱-۳].

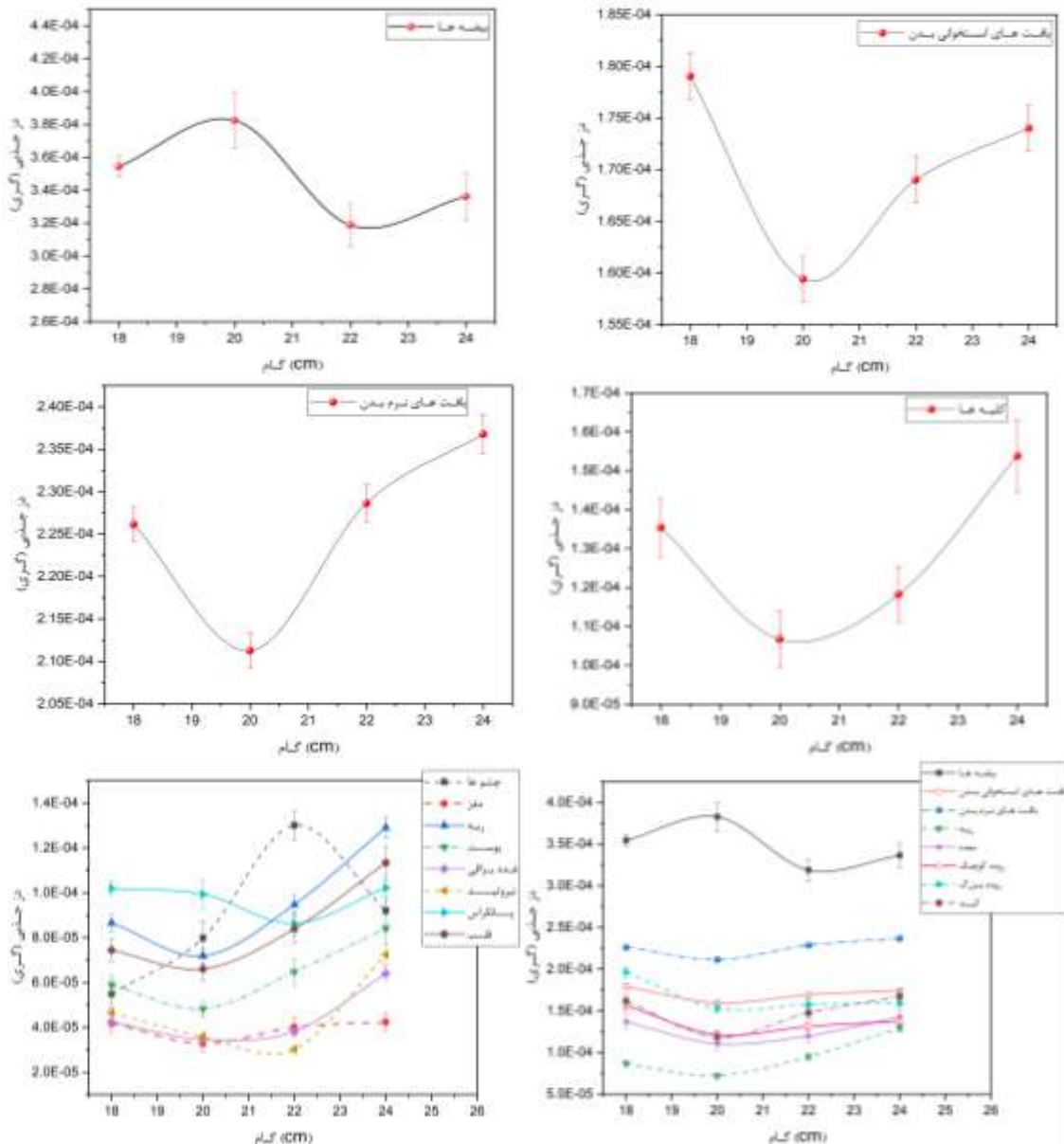


شکل ۴: نمایی از فانتوم شبیه‌سازی شده با اعمال آخرین تصحیحات و نحوه قرارگیری این فانتوم بر روی قلب راکتور برای محاسبات دزسنجی

محاسبات دزسنجی

در این مقاله با استفاده از کد MCNPX، دز جذبی بافت‌های بدن با استفاده از تالی‌های F6:N P و F26:P و F16:N و به ازای گام‌های مختلف شبکه مربعی مجتمع‌های سوخت اکسید اورانیوم در راکتور HWZPR محاسبه شد. برای این هدف ابتدا دو برنامه نوشته شد؛ در یک برنامه به ازای هرگام شبکه مربعی، محاسبات نوترونیکی راکتور با استفاده از کارت‌های SSW، KSRC، KCODE انجام داده شد. با استفاده از کارت SSW یک خروجی شار از سطح بالایی راکتور گرفته شد و

نتایج در فایل به نام WSSA ذخیره شد، آنگاه با تغییر نام این فایل به RSSA و فراخوانی آن با استفاده از کارت SSR به عنوان یک چشمه سطحی در برنامه دوم، دز جذبی بافت‌های مختلف فانتوم بدن انسان محاسبه شد. در شکل ۵ منحنی‌های دز جذبی تعدادی از اعضای فانتوم بدن انسان به ازای گام‌های مختلف شبکه مربعی مجتمع‌های سوخت آورده شده است.



شکل ۵: منحنی‌های دز جذبی برای بافت‌های مختلف بدن به ازای گام‌های مختلف شبکه مربعی مجتمع‌های سوخت اکسید اورانیوم

بحث و نتیجه‌گیری:



از نمودارهای بالا متوجه می‌شویم وقتی اپراتور بالای قلب راکتور مشغول جابجایی نمونه‌های آزمایش یا میله‌های سوخت می‌باشد، بافتی که بیشترین دز جذبی دریافتی را دارد بیضه‌ها و غدد جنسی می‌باشد و در مرتبه‌های بعدی بافت‌های نرم و بافت‌های استخوانی پا (استخوان ران و لگن) و دست (آرنج و بازو) قرار دارند. بنابراین با توجه به نتایج بالا ضروریست که از سیستم‌های مکانیزه بجای اپراتور بهره برد و یا از لباس‌های مخصوص برای حفاظت اپراتور راکتور استفاده کرد تا از آسیب‌های جدی به بافت‌های مختلف بدن اپراتور جلوگیری شود. با توجه به اینکه محاسبات دز جذبی در تمام حجم هر بافت و در واحد زمان انجام شده است لذا می‌توان برای کار بعدی محاسبات دز موثر را به ازای اعضای مختلف بدن انجام و با توجه به حد مجاز سالانه ۱ میلی‌سیورت مدت زمانی را که اپراتور می‌تواند نزدیک قلب راکتور فعالیت کند را محاسبه کرد.

مراجع

- [۱] نوراشرف الدین، سیدابوالحسن؛ میری حکیم آباد، سیدهاشم "دزسنجی بیمار در درمان تومورهای سرطانی مغز به روش براکی ترایی"، بیست و سومین کنفرانس هسته‌ای ایران، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات ۱۳۹۵
- [۲] MIRD Pamphlet No. 15: *Radionuclide S Values in a Revised Dosimetric Model of the Adult Head and Brain*.
- [۳] ICRP (International Commission on Radiological Protection), *Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values*, Publication 89. Ann 2003.
- [۴] نوراشرف الدین، سید ابوالحسن؛ نصر، زهرا؛ خورسندی، جمشید "بررسی گام بهینه راکتور صفر قدرت HWZPR با مجتمع‌های سوخت UO₂ در شبکه‌های هگزگونال و مربعی" کنفرانس فیزیک ایران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین ۱۳۹۷
- [۵] J.Khorsandi, Z.Nasr et al., "Heavy Water Zero Power Reactor (HWZPR) mixed core first criticality, calculation and experiments". *Progress in Nuclear Energy*, Vol(85). Pages 613-616 (November 2015).
- [۶] RSIC COMPUTER CODE COLLECTION- MCNP-4C, "Monte Carlo N-Particle Transport Code System", Los Alamos, National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, 1994.