



## دزسنجی بافت‌های بدن در مجاورت چشمه‌های نوترونی $^{252}\text{Cf}$ و $^{241}\text{Am-Be}$

نور اشرف الدین، سید ابوالحسن

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

### چکیده:

باتوجه به حضور تابش‌ها در زندگی بشر، دستیابی به روش‌های نوین دزسنجی از اهمیت فراوانی برخوردار است. تابش‌های یونیزان اثر بیولوژیکی مخربی را بر روی سلول‌های بدن دارند، بنابراین برای بررسی این اثرات بایستی دز رسیده به بافت‌های مختلف بدن محاسبه شود. در این مقاله محاسبات دزسنجی بافت‌های مختلف بدن انسان در یک محیط کار آزمایشگاهی با چشمه‌های نوترونی  $^{252}\text{Cf}$  و  $^{241}\text{Am-Be}$ ، با استفاده از یک فانتوم ریاضی و بر اساس آخرین تصحیحات کمیته MIRD، به روش مونت‌کارلو با کد MCNPX انجام شد و میزان دز موثر دریافتی بدن در حضور این چشمه‌های نوترونی و مدت زمان مجاز کار با این چشمه‌ها، محاسبه گردید.

کلمات کلیدی: دزسنجی، فانتوم، MIRD، MCNPX

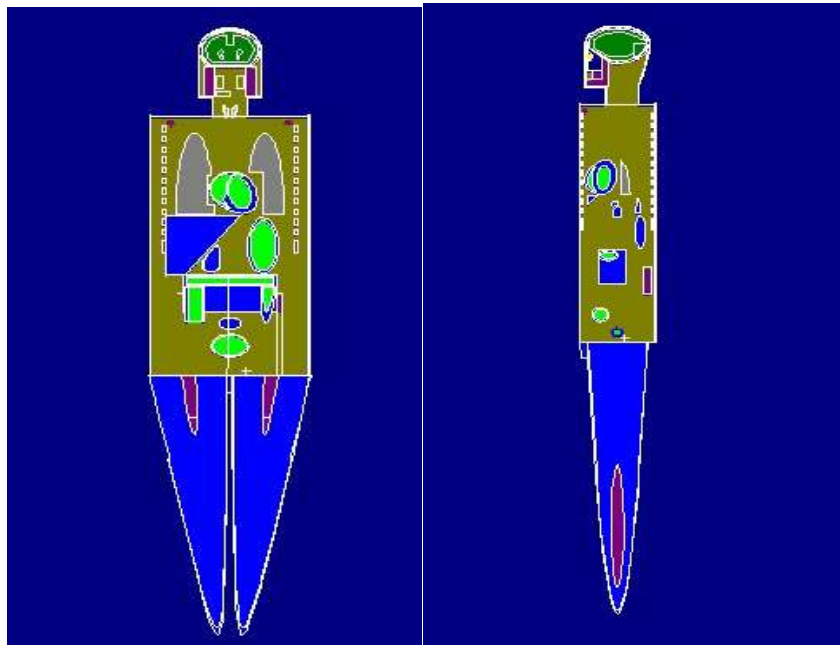
### مقدمه:

یکی از موضوعات بسیار مهم در صنعت هسته‌ای، مسئله حفاظت کاربران و کارکنان در برابر تابش‌های رادیواکتیو است. برای مثال فردی را که در یک آزمایشگاه تحقیقاتی با چشمه‌های مختلف پرتوزا سروکار دارد، در نظر بگیرید. این شخص در این محیط کوچک و بسته به شکل پیوسته تحت تابش ناشی از این چشمه‌ها قرار می‌گیرد، در نتیجه اعضای بدن این شخص دز ناشی از چشمه‌ها را دریافت و اگر این دز دریافتی به صورت پیوسته و زیاد باشد، آنگاه آسیب‌های زیستی احتمالی زیادی بر روی سلول‌های مختلف بافت‌های بدن ایجاد خواهد شد. کمیته‌های حفاظت در برابر پرتوها برای پرتوکاران یکسری محدودیت‌ها در راستای پیشگیری از خطرات احتمالی ناشی از استفاده این چشمه‌های پرتوزا در نظر گرفته است و بدین جهت یک دز سالیانه برای افرادی که در چنین شرایط کاری قرار دارند، تعریف کرده است. هدف این مقاله، محاسبات دزسنجی بافت‌های مختلف بدن در محیط کار آزمایشگاهی با چشمه‌های نوترونی  $^{252}\text{Cf}$  و  $^{241}\text{Am-Be}$  و تعیین مدت زمان کار با این چشمه‌ها در راستای حفظ ایمنی پرتوکاران می‌باشد. این محاسبات با کد MCNPX و بر اساس آخرین تصحیحات کمیته MIRD در شبیه‌سازی فانتوم ریاضی بدن انسان [۱] انجام می‌شود.

## روش کار :

کمیته ICRP یکی از معتبرترین مؤسسات با استاندارد بالا در زمینه حفاظت در برابر پرتوها است. این کمیته حد دز مؤثر سالانه را برای فرد پرتوکار حداکثر  $50 \text{ mSv}$  اعلام می‌کند با این توضیح که در ۵ سال پیاپی نباید بیش از  $100 \text{ mSv}$  شود. با این وصف، با احتساب ۵۰ هفته‌ی کاری در طول سال و ۵ روز کاری در طول هفته و ۸ ساعت در طول روز، حد آهنگ دز مؤثر بدن پرتوکار  $25 \mu\text{Sv/h}$  می‌شود. بنابراین دز مؤثر دریافت شده توسط بافت‌های مختلف بدن شخص نباید بیش از ۲۵ میکروسیورت در ساعت شود. بنابراین با رعایت این حد دز دریافتی احتمال اثرات تصادفی ناشی از پرتو بر بافت‌های بدن تا یک حد قابل قبول کاهش می‌یابد. در این مقاله، حالت شخصی که در یک محیط آزمایشگاهی بسته و کوچک با چشمه‌های پرتوزا در ارتباط است، بررسی شده است.

برای انجام این کار، نیاز به شبیه‌سازی بدن انسان به‌طور کامل و دقیق است و هر چه این فانتوم بدن انسان شبیه‌تر به حالت واقعی طراحی شود، نتایج به‌دست آمده در محاسبات دزسنجی از اعتبار بیشتری برخوردار خواهد بود. برای این هدف، آخرین تصحیحات کمیته MIRD [۲] در شبیه‌سازی فانتوم ریاضی بدن انسان کامل [۳] ORNL اعمال و شبیه‌سازی انجام شد [۱]. نماهایی از این فانتوم شبیه‌سازی شده در شکل ۱ آورده شده است.

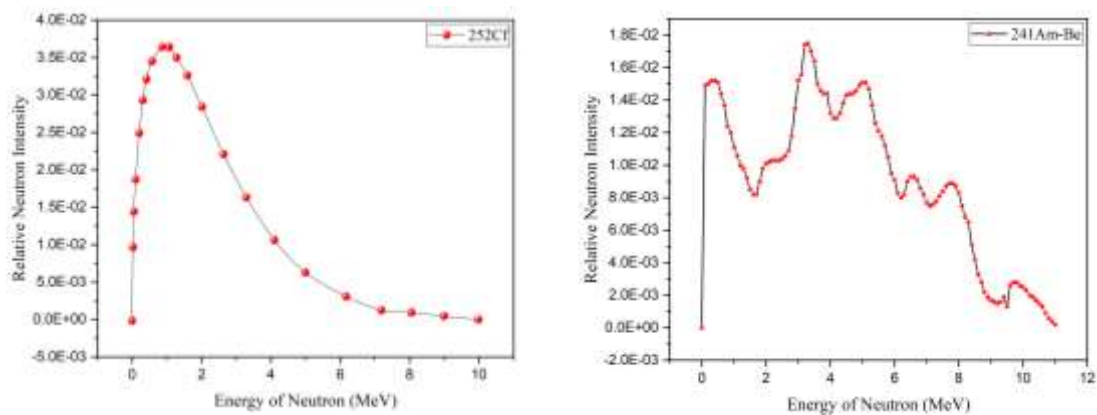


شکل ۱: نماهایی از فانتوم شبیه‌سازی شده با اعمال آخرین تصحیحات کمیته MIRD



### تعریف محل قرارگیری چشمه:

چشمه‌های نوترونی که پرتوکاران در محیط آزمایشگاهی اغلب با آنها سرو کار دارند  $^{252}\text{Cf}$  و  $^{241}\text{Am-Be}$  می‌باشند. در محاسبات شبیه‌سازی، چشمه‌ها به صورت چشمه‌های نقطه‌ای در فاصله ۳۵ سانتیمتری از سطح زمین و در فواصل مختلف در راستای مقابل با این فانتوم بدن انسان در نظر گرفته شد. طیف نوترونی این دو چشمه در شکل ۲ آورده شده است.



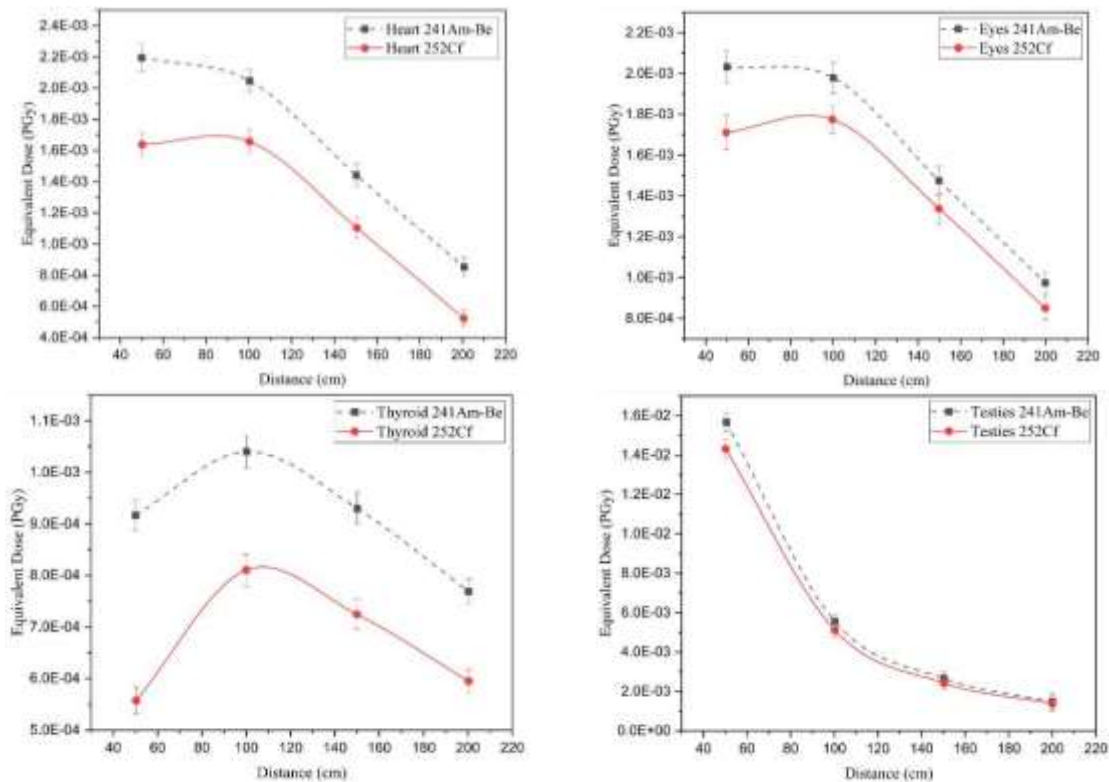
شکل ۲: طیف نوترونی چشمه‌های  $^{252}\text{Cf}$  و  $^{241}\text{Am-Be}$

### محاسبات دزسنجی:

برای محاسبه دز معادل چشمه‌های ایزوتوپی  $^{252}\text{Cf}$  و  $^{241}\text{Am-Be}$  بایستی اثر نوع پرتو در محاسبات اعمال شود. با ضرب کردن ضرایب وزنی تابش در مقدار دز جذبی می‌توان اثر نوع ذره گسیل شده از چشمه یا همان نوع پرتو را در محاسبات دزسنجی اعمال کرد. داده‌هایی که از خروجی کد MCNP برای طیف نوترونی کل چشمه داشتیم شامل سه دز می‌باشد: ۱- دز ناشی از نوترون طیف نوترونی، ۲- دز ناشی از فوتون‌های طیف نوترونی و ۳- دز ناشی از فوتون‌های طیف فوتونی چشمه.

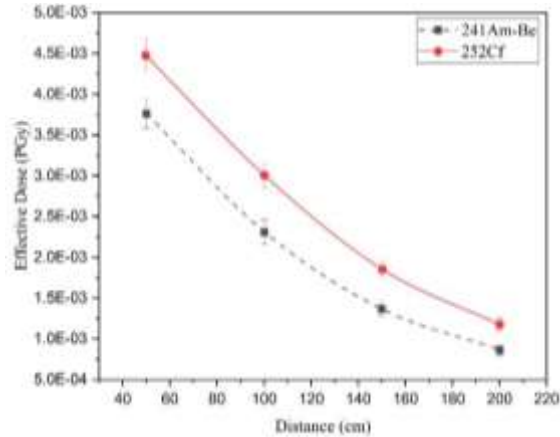
برای محاسبه دز معادل نوترون‌های طیف نوترونی چشمه، ابتدا دز معادل فوتون طیف نوترونی را بدست آورده، سپس دز معادل نوترون را حساب کرده و این دو مقدار را که برای هر عضو محاسبه و با هم جمع می‌کنیم. دز معادل فوتون چشمه را نیز از ضرب دز جذبی فوتون طیف نوترونی در عدد ۱ بدست می‌آید؛ زیرا که دز معادل فوتون از ضرب دز جذبی در  $W_R$  محاسبه می‌شود و  $W_R$  فوتون ۱ است. اما برای محاسبه دز معادل نوترون بایستی دز جذبی ناشی از نوترون طیف را در  $W_R$  نوترون چشمه ضرب شود و به این علت که برای این دو چشمه یک طیف نوترونی وجود دارد، این طیف بایستی با یک  $W_R$  متوسط تعریف شود. با محاسبات مقدار  $\overline{W_R}$  برای چشمه  $^{241}\text{Am-Be}$  مقدار ۱۳/۶۶ و برای چشمه

$^{252}\text{Cf}$  مقدار  $\overline{W_R} = 16,56$  بدست آمد. دز معادل طیف نوترونی که در بالا حساب شد را با دز معادل طیف فوتونی چشمه که همان دز جذبی فوتون است (زیرا ضریب وزنی تابش برای فوتون ۱ است) برای هر عضو جمع و بدین ترتیب دز معادل برای اعضای بدن فانتوم که نماینده بدن انسان است، محاسبه شد. در شکل ۳ منحنی‌های دز معادل برای چند عضو به ازای این دو چشمه نوترونی آورده شده است.



شکل ۳: منحنی‌های دز معادل برای قلب، چشم‌ها، تیروئید و غدد جنسی به ازای این دو چشمه نوترونی

در محاسبات دزسنجی علاوه بر نوع پرتو، جنس بافت‌های بدن نیز در تخمین دزی که به بدن می‌رسد؛ نقش مهمی دارد. در ادامه محاسبات دز مؤثر کل بدن با استفاده از دز معادل بدست آمده برای طیف امرسیوم-برلیوم و کالیفرنیم و ضرایب وزنی بافت مختص هر عضو ( $W_T$ ) برای فاصله‌های مختلف از این دو چشمه نوترونی انجام شد. در شکل ۴ منحنی دز مؤثر بر حسب فاصله را برای دو چشمه  $^{241}\text{Am-Be}$  و  $^{252}\text{Cf}$  نشان داده شده است.



شکل ۴: منحنی دز مؤثر چشمه‌های  $^{241}\text{Am-Be}$  و  $^{252}\text{Cf}$

### بحث و نتیجه‌گیری :

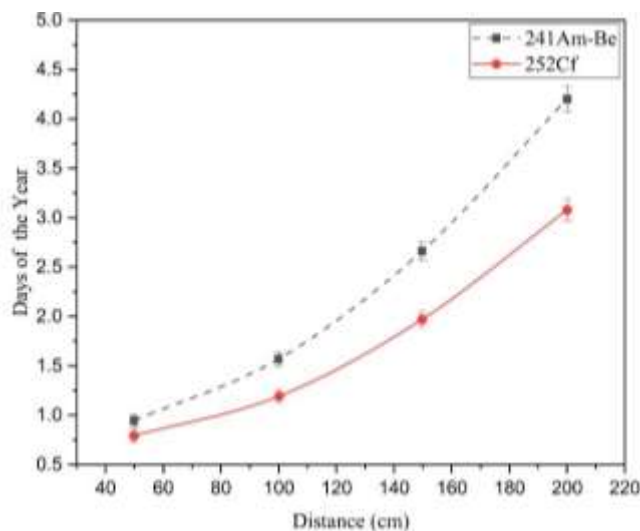
حد مجاز سالانه برای افراد عادی در دریافت پرتو  $1\text{ msv}$  (۱ میلی سیورت) می‌باشد. با استفاده از دز مؤثری که در این مقاله برای دو چشمه  $^{252}\text{Cf}$  و  $^{241}\text{Am-Be}$  محاسبه شد، آنگاه تعداد روزهایی را که فرد می‌تواند در محیط آزمایشگاه با این چشمه‌ها کار کند برای فواصل مختلف از چشمه محاسبه شد. این چشمه‌ها در هر ثانیه تقریباً  $10^7$  نوترون گسیل می‌کنند حال تعداد نوترون‌هایی را که یک شخص در ۸ ساعت کاری در روز از این چشمه‌ها دریافت می‌کند را می‌توان از حاصلضرب  $10^7 \times 3600 \times 8$  بدست آورد. یعنی بدن شخصی که در روز حدود ۸ ساعت با یکی از این دو چشمه ارتباط داشته باشد حدود  $10^9 \times 288$  ذره نوترون دریافت می‌کند. دز مؤثر رسیده به بدن فرد در ۸ ساعت کاری در یک روز به ازای فواصل مختلف از چشمه‌های نوترونی امرسیوم-بریلیوم و کالیفرنیوم محاسبه و نتایج در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۱: دز مؤثر دریافتی در ۸ ساعت کاری در یک روز به ازای فواصل مختلف از چشمه‌ها

فاصله (cm)	دز مؤثر دریافتی در ۸ ساعت کاری یک روز برای چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ ( $\times 10^9 \text{ PGy}$ )	دز مؤثر دریافتی در ۸ ساعت کاری یک روز برای چشمه $^{252}\text{Cf}$ ( $\times 10^9 \text{ PGy}$ )
۵۰	$1,0839 \pm 0,052$	$1,28765 \pm 0,0576$
۱۰۰	$0,666479 \pm 0,043$	$0,86871 \pm 0,046$
۱۵۰	$0,39642 \pm 0,025$	$0,53481 \pm 0,027$
۲۰۰	$0,2521 \pm 0,0201$	$0,44223 \pm 0,023$



حال با استفاده از مقدار دز مجاز سالانه و دز مؤثر دریافتی فرد در یک روز کاری ۸ ساعته از این دو چشمه، که با تقسیم عدد دز مجاز سالانه بر دز مؤثر یک روز کاری ۸ ساعته، تعداد روزهای کاری که شخص مجاز به کار کردن با این دو چشمه می‌باشد، را می‌توان حساب نمود. در شکل ۴ منحنی تعداد روزهای مجاز کار با این چشمه‌ها در طول سال برای هر دو چشمه با فرض ۸ ساعت کار در روز آورده شده است.



شکل ۵: تعداد روزهای کاری (به ازای ۸ ساعت کاری در هر روز) مجاز فرد در سال برای کار با دو چشمه  $^{241}\text{Am-Be}$  و  $^{252}\text{Cf}$  بر حسب فواصل مختلف

با توجه به منحنی بالا، تعداد روزهای کاری مجاز (با در نظر گرفتن ۸ ساعت کار در طول روز) استفاده یک شخص از این دو چشمه در طی سال، بسیار کم خواهد بود؛ بنابراین در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی برای افزایش زمان استفاده افراد از این چشمه‌ها بایستی از حفاظ گذاری جهت کاهش تشعشعات رسیده از چشمه‌ها استفاده نمود؛ عموماً از حفاظ پارافینی برای کاهش میزان دزی که اعضای بدن دریافت می‌کنند، استفاده می‌کنند و چشمه‌ها را در یک حفاظ پارافینی با ضخامت‌های تعیین شده قرار می‌دهند. در شرایط یکسان، دز معادل محاسبه شده بعضی از اعضای بدن که در معرض چشمه  $^{241}\text{Am-Be}$  قرار دارند بیشتر از دز معادل آن اعضا در معرض چشمه  $^{252}\text{Cf}$  می‌باشد، در بعضی دیگر از اعضای بدن، عکس این اتفاق رخ می‌دهد. این اختلاف نتایج ناشی از طیف نوترونی متفاوت این چشمه‌ها در انرژی‌های مختلف و همچنین مقدار  $\overline{W}_R$  متفاوت برای این چشمه‌ها می‌باشد. در نهایت با توجه به محاسبات به ازای فواصل مختلف، دز مؤثر بافت‌های بدن در مجاورت چشمه  $^{252}\text{Cf}$  بیشتر از دز مؤثر بافت‌های بدن در مجاورت چشمه  $^{241}\text{Am-Be}$  می‌باشد.

مراجع



بیست و ششمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۸۰۷ اسفندماه ۱۳۹۸- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تهران



[۱] سیدابوالحسن نوراشرف الدین، سیدهاشم میری حکیم آباد " دزسنجی بیمار در درمان تومورهای سرطانی مغز به روش براکی تراپی "، 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] Evaluation Of Specific Absorbed Fractions From Internal Photon Sources In ORNL Analytical Adult Phantom , laleh rafaat motevalli.