



## دوز نوترون و فوتون در اتاق درمان شتابدهنده انرژی بالا و ارزیابی عملکرد حفاظ سازی آن به

### روش مونت کارلو

مهديه بهجتی\*<sup>۱</sup> - مصطفی سهراب پور<sup>۱</sup> - فتح الله بوذرجمهری<sup>۲</sup>

۱-دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی، گروه مهندسی هسته ای

۲-دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، گروه فیزیک پزشکی

#### چکیده

در این پژوهش اتاق درمان رادیوتراپی  $18MV$  ONCOR با کد MCNP-5 شبیه سازی شده است و دوز نوترون و فوتون ثانویه در امتداد راهرو ورودی به اتاق درمان محاسبه شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی با روش تحلیلی گزارش IAEA ۴۷ با موفقیت اعتبار سنجی شده است. سپس با استفاده از همین گزارش حفاظ اتاق درمان شتابدهنده مورد ارزیابی قرار گرفته است و برنامه کامپیوتری به این منظور نوشته شده است. در شبیه سازی دوم عملکرد حفاظ های فوتونوترونی مختلف را با هم مقایسه کردیم. نتایج نشان می دهد که پلی اتیلن حاوی بور به عنوان حفاظ فوتونوترونی موثر، سبب کاهش دوز نوترون و فوتون ثانویه در اتاق درمان به خصوص در ورودی راهرو شده است.

کلید واژه: دوز فوتون و نوترون، حفاظ سازی، مونت کارلو،  $18MV$  ONCOR

#### ۱-مقدمه

نوترون ها در شتاب دهنده های خطی الکترونی با انرژی بالاتر از  $10MV$  تولید می شوند. نوترون ها می توانند با تولید مستقیم توسط الکترون یا بصورت فوتونوترون تولید شوند. فوتونوترون های تولید شده در سر شتابدهنده از حفاظ شتابدهنده عبور کرده و در داخل شتابدهنده و اتاق درمان پراکنده می شوند. دومین چشمه تابشی که باید مدنظر قرار داد پرتو های گامای تولید شده ناشی از جذب نوترون های حرارتی توسط مواد حفاظ بتونی اتاق می باشد. از آنجایی که فوتونوترون ها تمایل به تجمع کردن در اتاق درمان به صورت همسانگرد را دارند، در صورت نبود حفاظ کافی دوز رسیده به کارکنان و اشخاص حاضر در اطراف اتاق درمان افزایش خواهد یافت.

به همین منظور در ابتدا اتاق درمان شتابدهنده  $18MV$  را شبیه سازی کردیم و دوز نوترون و گامای ثانویه را در طول راهروی ورودی به اتاق درمان محاسبه کردیم و نتایج را با روش تحلیلی گزارش ۴۷ آژانس بین المللی انرژی اتمی

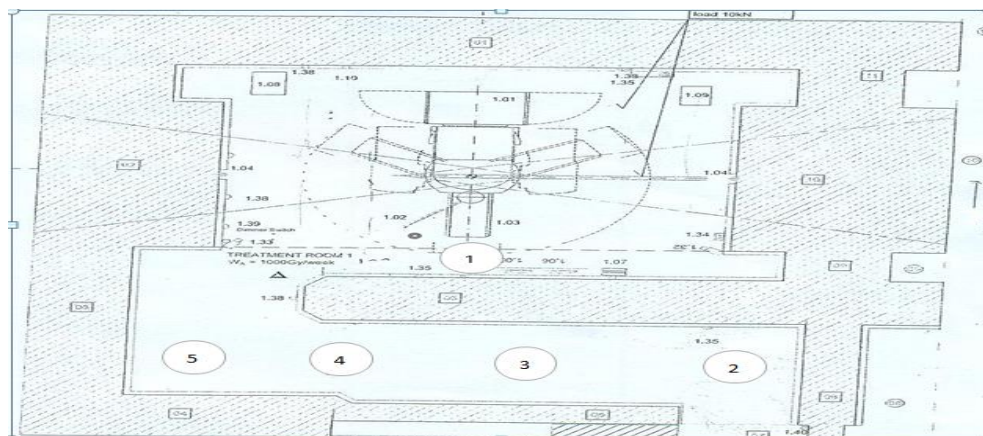
اعتبارسنجی کردیم. سپس با استفاده از همین گزارش برنامه کامپیوتری به منظور محاسبه ضخامت های مورد نیاز برای حفاظ سازی اتاق درمان، نوشته شده است تا طرح اتاق درمان ساخته شده بر اساس دستورالعمل کارخانه سازنده شتابدهنده مورد ارزیابی قرار گیرد.

بعد این ارزیابی، به مقایسه حفاظ های نوترونی مختلف قابل کاربرد در حفاظ سازی اتاق درمان پرداختیم. در این کار دیواره های اتاق درمان را با حفاظ های نوترونی مختلف پوشانیدیم و این حفاظ های نوترونی را با هم مقایسه کردیم.

## ۲- روش کار

### ۲-۱ شبیه سازی مونت کارلو

در این مطالعه اتاق درمان شتابدهنده Oncor ۱۸MV شبیه سازی شده است. شکل ۱ نمایی از اتاق درمان را نشان می دهد که فاصله کف تا جرثقیل ۳٫۷ متر است. تمام دیواره های اتاق از بتن معمولی ساخته شده است و روی دیواره ها لایه ۲ سانتی متری چوب پوشیده شده است. برای شبیه سازی این اتاق درمان از کد mcnp-۵ استفاده شده است و با تالی آشکارساز نقطه ای در نقاطی در امتداد راهروی ورودی، دوز ناشی از نوترون و فوتون محاسبه شده است.



شکل ۱. طرح اتاق درمان انکور زمینس نصب شده در مرکز پرتودرمانی شهید رمضان زاده.

سر شتابدهنده به روش (Tosi et al., ۱۹۹۱) مدل سازی شده است. در این روش طیف فوتونوترونی ساطع شده از سر شتابدهنده به صورت فرمول زیر توصیف می شود:

$$n(E) = \alpha \frac{E}{T} \exp\left[\frac{-E}{T}\right] + \beta \frac{\ln \frac{E_{max}}{E+S_n}}{\int_{E_{max}-S_n}^{E_{max}} \ln \frac{E_{max}}{E+S_n} dE} \quad (1)$$

در این رابطه  $n(E)$  تعداد نوترون های تولید شده از سر شتابدهنده با انرژی بین  $E$  و  $E+dE$  است.  $T$  دمای هسته ای هدف است و  $E_{max}$  بیشینه انرژی الکترون شتابدهنده است.  $S_n$  انرژی جداسازی نوترون از هدف می باشد.

در این شبیه سازی نوترون های تولید شده به وسیله شتابدهنده به صورت چشمه نقطه ای همسانگرد با طیف انرژی معادله (۱) به دست آمده است. این مدل که برای شتابدهنده  $1 \text{ MV}$  Oncor، با مقایسه طیف نوترونی مدل Tosi و طیف به دست آمده از شبیه سازی هندسه سر این شتابدهنده در تحقیق (H.R. Vega-Carrillo et al., ۲۰۱۲) اعتبارسنجی شده است.

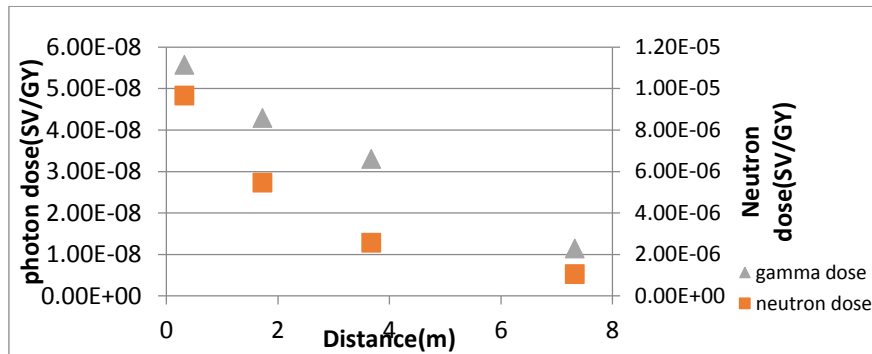
## ۲-۲ روش تحلیلی

در این مطالعه از گزارش IAEA ۴۷ برای ارزیابی شبیه سازی اول و هم چنین عملکرد حفاظ اتاق درمان ساخته شده استفاده شده است. طبق این گزارش دوز نوترون در ورودی درب اتاق درمان مطابق فرمول ۲۷ گزارش محاسبه می شود. برای مقایسه مقدار دوز به دست آمده از راه شبیه سازی و تحلیلی از شدت چشمه نوترونی شتابدهنده Siemens استفاده شده است که برابر  $0.92E+12$  است.

در ادامه با استفاده از همین گزارش برنامه کامپیوتری به زبان C-Sharp نوشته شده است. این برنامه ضخامت های حفاظ های مورد نیاز در ساخت اتاق درمان را برای دستگاه های درمانی کبالت، شتابدهنده  $6 \text{ MV}$  و  $18$  مطابق روش تحلیلی گزارش آژانس محاسبه می کند. ضخامت های به دست آمده از این روش به منظور ارزیابی عملکرد حفاظ اتاق ساخته شده با ضخامت های حفاظ ساخته شده مطابق با نقشه داده شده شرکت سازنده شتابدهنده، مقایسه شده است.

در شبیه سازی دوم این تحقیق، حفاظ های فوتونوترونی مختلف را به جای چوب به کار رفته در اتاق درمان جایگزین نمودیم تا بهترین حفاظ فوتونوترونی را برای کمینه کردن دوز فوتونوترون ناشی از شتابدهنده را مشخص کنیم. حفاظ های نوترونی بررسی شده شامل پرسپکس، پارافین، چوب، پلی اتیلن حاوی بور و پلی اتیلن حاوی لیتیم است.

## ۳. نتایج



شکل ۲. نمودار دوز ناشی از نوترون و گامای ثانویه برحسب فاصله در طول راهروی ورودی به اتاق درمان.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می کنید دوز نوترون و گامای ثانویه در طول راهروی ورودی کاهش یافته است به طوری که کمترین مقدار دوز را در کنار درب ورودی داریم.

جدول ۱ مقایسه ی دوز نوترون در ورودی درب را بین دو روش شبیه سازی و روش تحلیلی گزارش ۴۷ آژانس بین المللی انرژی اتمی را نشان می دهد.

جدول ۱. مقایسه دوز نوترون در کنار درب ورودی بر حسب (SV/GYX-RAY)

فاصله در طول راهرو (متر)	IAEA	MCNP-۵	خطای نسبی
۷,۵	$9,85E-7$	$1,02E-6$	۳,۵%
۷,۳۲	$1,0504E-06$	$1,04E-06$	۰,۳۵%
۷,۱۷	$1,1082E-06$	$1,07E-06$	۳,۴%

این اعتبار سنجی در سه نقطه کنار درب ورودی انجام شده است. همانطور که مشاهده می کنید تطابق خوبی بین دوز نوترونی محاسبه شده از روش تحلیلی و روش شبیه سازی وجود دارد. این مقایسه تاییدی بر درستی نتایج شبیه سازی است.

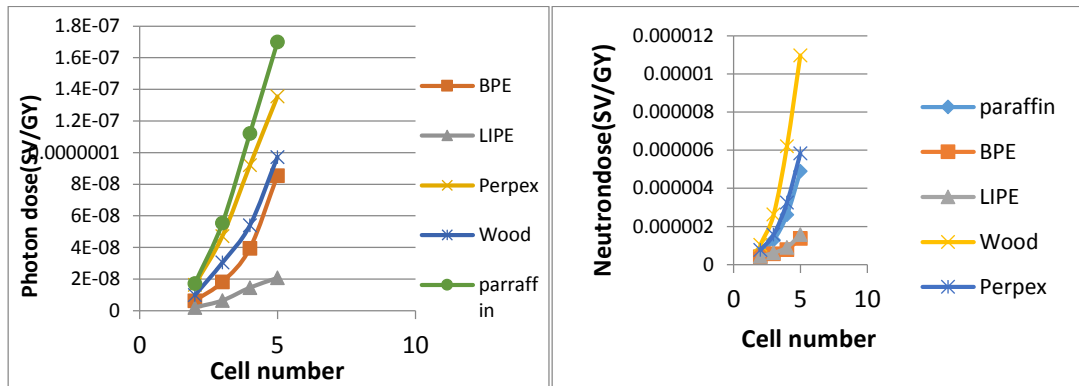
جدول ۲ ضخامت های حفاظ محاسبه شده از برنامه کامپیوتری نوشته شده به زبان C-Sharp بر حسب دستور العمل های گزارش ۴۷ IAEA و ضخامت های اجرا شده در ساخت اتاق درمان بر اساس دستور العمل کارخانه سازنده را نشان می دهد.

جدول ۲. ضخامت حفاظ های مورد نیاز در ساخت اتاق درمان بر اساس دو دستورالعمل

شماره ضلع اتاق	ضخامت محاسبه شده از برنامه کامپیوتری	ضخامت اجرا شده بر اساس دستور العمل شرکت سازنده
ضلع ۲ (مانع اولیه)	۲/۳m	۲/۵m
ضلع ۴ (مانع ثانویه)	۱/۳ m	۱/۳۵ m
حفاظ نوترونی درب	۳۵mm	۱۵cm

ضخامت تمام اضلاع اتاق که در شکل ۱ نشان داده شده است با برنامه کامپیوتری محاسبه شده است در جدول بالا ضخامت چند ضلع اتاق برای مقایسه آورده شده است. همان طور که مشاهده می کنید ضخامت های به دست آمده از برنامه کامپیوتری کمتر از ضخامت های اجرا شده بر اساس دستور العمل کارخانه سازنده می باشد که نشان دهنده تایید طرح اتاق درمان پیشنهاد شده به وسیله شرکت زمینس است. ضخامت حفاظ نوترونی به روش شبیه سازی نیز محاسبه شده است و برابر با ۳۵,۴mm به دست آمده است که تطابق خوبی با ضخامت محاسبه از برنامه کامپیوتری دارد و خطایی در حدود ۱٪ را نشان می دهد.

شکل ۳ نمودار دوز نوترون محاسبه شده از روش شبیه سازی mcnp در سلول های تعریف شده در راهروی ورودی به اتاق درمان را برای حفاظ های فوتونوترونی مختلف نشان می دهد. همانطور که در نمودار مشاهده می کنید پلی اتیلن حاوی بور به علت داشتن جاذب بور بیشترین تاثیر را در کاهش دوز نوترون در طول راهروی ورودی دارد.

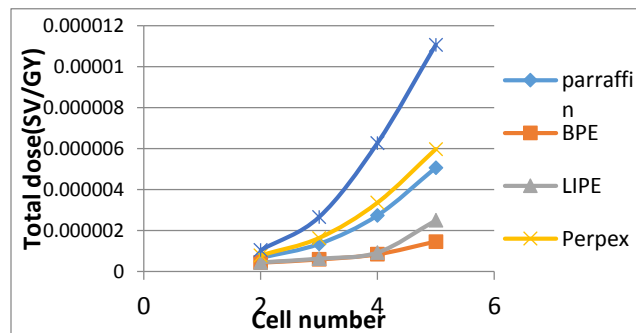


شکل ۴. دوز گامای ثانویه به دست آمده از mcnp برای سلول

شکل ۳. دوز نوترونی به دست آمده از mcnp برای سلول های

تعریف شده در طول راهرو برای حفاظ های نوترونی مختلف.

تعریف شده در طول راهرو برای حفاظ های نوترونی مختلف.



شکل ۵. دوز کلی به دست آمده از mcnp برای سلول های تعریف شده در طول راهرو برای حفاظ های نوترونی مختلف.

شکل ۴ دوزناشی از گاماهاى ثانویه که از روش شبیه سازی در سلول های مختلف در طول راهروبه دست آمده است را برای حفاظ های فوتونوترونی مختلف نشان می دهد. پلی اتیلن حاوی لیتیم بیشترین تاثیر را در کاهش دوز گامای ثانویه دارد که به علت داشتن لیتیم می باشد. زیرا لیتیم با گیراندازی نوترون، گامای ثانویه تولید نمی کند و واکنش برهم کنشی آن از نوع  $(n, \alpha)$  می باشد. اما لیتیم جاذب خوب نوترون های حرارتی نیست.

شکل ۵ دوز کلی ناشی از هر دوی دوز نوترون و گامای ثانویه که از روش شبیه سازی به دست آمده است را برای حفاظ های فتونوترونی مختلف مقایسه کرده است. همانطور که در نمودار مشخص است پلی اتیلن حاوی بور با اختلاف خیلی کوچکی از پلی اتیلن حاوی لیتیم موثرتر است و از این مقایسه می توان پلی اتیلن حاوی بور را به عنوان بهترین حفاظ فوتونوترونی در بین حفاظ های فتونوترونی بررسی شده معرفی کرد.

### ۳. بحث و نتیجه گیری

در اکثر اتاق های درمان ساخته شده برای حفاظ سازی نوترون درهای سنگین با حفاظ نوترونی می سازند اما در این کار پیشنهاد شد حفاظ نوترونی را روی دیواره های اتاق بیوشانیم که تاثیر زیادی در کاهش دوز به خصوص در ورودی اتاق درمان دارد و دیگر نیاز به تعبیه درهای سنگین نمی باشد. و در این کار نشان داده شده است که پلی اتیلن حاوی بور در میان حفاظ های بررسی شده بیشترین تاثیر را در کاهش دز نوترون و گاما دارد.

این تحقیق می تواند در بهینه سازی حفاظ سازی اتاق درمان به کار گرفته شود و هم چنین در این کار برنامه کامپیوتری معرفی شده است که کار ارزیابی طرح های اتاق درمان پیشنهاد شده توسط شرکت های سازنده شتابدهنده ها را براساس گزارش ۴۷- IAEA سرعت می دهد.

### ۴. مراجع:

۱. Tosi, G., Torresin, A., Agosteo, S., Flogio Para, A.F., Sangiust, V., Zeni, L., ۱۹۹۱. Neutron measurements around medical electron accelerators by active and passive detection techniques. Med. Phys. ۱۸, ۵۴-۶۰.

۲. H.R. Vega-Carrillo a, n. S.-O.-R. (۲۰۱۲). Neutron and photons spectrain LINACs. *Applied Radiation and Isotopes* .

۳. J. Ghassoun , N. S. (۲۰۱۱). Neutron and photon doses in high energy radiotherapy facilities and evaluation of shielding performance by Monte Carlo method. *Annals of Nuclear Energy*, ۲۱۶۳-۲۱۶۷.

۴. C.R. Baker, S. T. (۲۰۰۱). Neutron transport in a clinical linear accelerator bunker: comparison of materials for reducing the photo-neutron dose at the maze entrance. *Radiation Physics and Chemistry* ۶۱, -۶۳۳ *Radiation Protection Dosimetry Vol. ۱۰۷, No. ۴, pp. ۲۳۳. (۲۰۰۳) ۲۳۸-*

۵. IAEA. (۲۰۰۶). *SAFTY REPORT SERIES NO. ۴۷. VIENNA,*.