

ارزیابی میزان دز ناشی از نوترون در اطراف یک مولد نوترون DD/DT

جراحی، حسین^۱؛ کاسه ساز، یاسر^{۲*}

^۱دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده علوم، گروه فیزیک، تهران

^۲پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران

چکیده:

مولدهای نوترون بر اساس جنس هدف، می توانند نوترون های پر انرژی 14 MeV و $2,45 \text{ MeV}$ با ضریب تاثیر بیولوژیکی حدود ۱۰ تولید کنند لذا ارزیابی میزان دز در اطراف دستگاه اهمیت به سزایی دارد. هدف این پژوهش محاسبه و ارزیابی دز موثر ناشی از نوترون در اطراف یک مولد نوترون به کمک کد MCNPX می باشد. نتایج نشان می دهد که دز ناشی از نوترون در مولدهای نوترونی وابسته به زاویه قرار گیری نسبت به دستگاه و نیز نوع مولد نوترونی است. دز ناشی از مولدهای DT حدود ۵۰۰ برابر بیشتر از مولدهای DD است. همچنین نتایج نشان می دهد که با افزایش فاصله تا پنج متر میزان دز حدود بیست برابر کاهش می یابد.

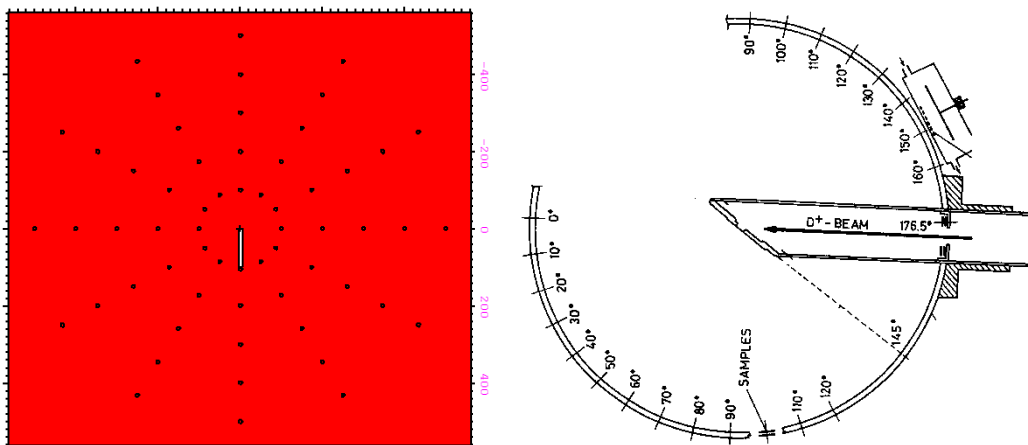
کلمات کلیدی: مولد نوترون D-D/D-T، دز موثر، کد MCNPX

مقدمه:

امروزه مولدهای نوترون کاربردهای زیادی دارند و تلاش های بسیاری جهت ساخت مولدهای نوترونی با شار بالا در حال انجام است [۱-۲]. این نوع چشمه های نوترونی عموماً به صورت یک ابزار با ابعاد نسبتاً کوچک در یک آزمایشگاه تحقیقاتی با ابعاد نسبتاً بزرگ راه اندازی می شوند به نوعی که کاربر می تواند در حین کار فاصله مناسبی از دستگاه بگیرد. یکی از دغدغه های مهم در استفاده از این نوع چشمه نوترونی مربوط به ملاحظات فیزیک بهداشت می باشد. از آنجا که این مولدها بر اساس جنس هدف، می توانند نوترون های پر انرژی 14 MeV و $2,45 \text{ MeV}$ با ضریب تاثیر بیولوژیکی حدود ۱۰ [۳] تولید کنند لذا ارزیابی میزان دز در اطراف دستگاه اهمیت به سزایی دارد. هدف این پژوهش محاسبه و ارزیابی دز موثر ناشی از نوترون در اطراف یک مولد نوترون می باشد. به این منظور از کد MCNPX استفاده شد. پس از شبیه سازی تیوب مولد نوترون، با در نظر گرفتن توزیع زاویه ای نوترون های خروجی و انرژی میانگین نوترون در هر زاویه، میزان دز موثر در زاویه ها و فاصله های مختلف از دستگاه با استفاده از ضرائب تبدیل شار به دز محاسبه گردید. کلیه محاسبات یکبار برای مولد DD و بار دیگر برای مولد DT انجام شده است.

روش کار:

شکل (۱) (چپ)) هندسه شبیه سازی شده را نشان می دهد که شامل تیوب مولد نوترون، بتون کف آزمایشگاه و کره هایی در زاویه ها و فاصله های مختلف از دستگاه به منظور محاسبه دز موثر در آنها می باشد.



شکل (۱) (راست) هندسه شبیه سازی شده از سیستم شامل تیوب مولد نوترون و کره های مربوط به محاسبه دز، (چپ) نحوه قرار گیری هدف در یک مولد و مفهوم زاویه در رابطه (۱)

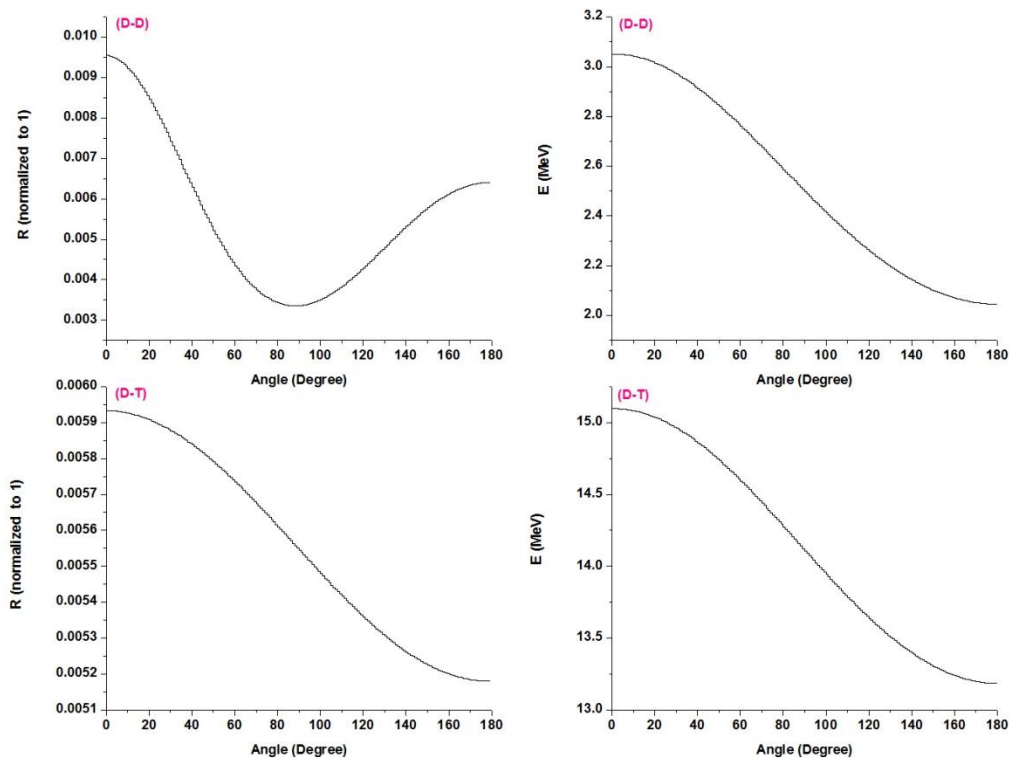
توزیع زاویه ای و نیز انرژی نوترون های خروجی از مولد به ضخامت هدف، جریان و انرژی دوترون فرودی بستگی دارد. وابستگی انرژی و توزیع زاویه ای نوترون به انرژی دوترون و زاویه خروج نوترون (نسبت به راستای فرودی دوترون) توسط دو رابطه زیر بیان می شود [۴]:

$$\begin{cases} E_n(E_d, \theta) = E_0 + \sum_{i=1}^2 E_i \cos^i \theta \\ R(E_d, \theta) = 1 + \sum_{i=1}^2 A_i \cos^i \theta \end{cases} \quad (1)$$

شکل (۱) (راست)) نحوه قرار گیری هدف در یک مولد و مفهوم زاویه در رابطه (۱) را نشان می دهد [۴]. در رابطه (۱) ثابت های E_i و A_i به انرژی دوترون بستگی دارند. مقدار این پارامترها برای دو حالت DD و DT به ازای انرژی ۲۰۰ keV در جدول (۱) آمده است [۴]. بهره تولید نوترون برای دوترون های با انرژی keV ۲۰۰ برای مولد DT برابر $۱,۴۵ \times ۱۰^{۱۱}$ (n/mA.s) و برای مولد DD برابر $۸,۰۰ \times ۱۰^۸$ (n/mA.s) می باشد [۴].

جدول (۱) مقدار پارامترهای E_i و A_i برای دوترون های با انرژی ۲۰۰ keV [۴]

	A1	A2	A3	A4	A5	E0	E1	E2	E3
DD	-۰,۰۳۱۴۹	۱,۱۱۲۲۵	۰,۳۸۶۵۹	۰,۱۱۵۱۸	۰,۲۶۶۷۶	۲,۴۹۷۷۱	۰,۵۰۰۷۲	۰,۰۵۰۴۴	۰,۰۳۳۲
DT	۰,۰۶۷۸	۰,۰۰۰۵	۰	۰	۰	۱۴,۱۰۷۱۱	۰,۹۵۵۹۶	۰,۰۰۲۴۲	۰



شکل (۲) بهره و انرژی نوترون های گسیلی در زوایای مختلف بر اساس رابطه (۱)

شکل (۲) بهره و انرژی نوترون را بر حسب زاویه برای هر دو نوع مولد نوترون نشان می دهد. تعریف چشمه در ورودی کد بر اساس رابطه (۱) صورت گرفت. محاسبات دزیمتری با استفاده از روش تبدیل شار به دز انجام شد. به این منظور با استفاده از کارت DF4 و در نظر گرفتن استاندارد ANSI-1991 [۵] نرخ دز در کره های اطراف مولد نوترون محاسبه شد. جهت اعتبار سنجی محاسبات، نتایج برای یک حالت خاص شامل یک چشمه نقطه ای همسانگرد بدون حفاظ با استفاده از رابطه تحلیلی زیر مقایسه گردید [۶]:

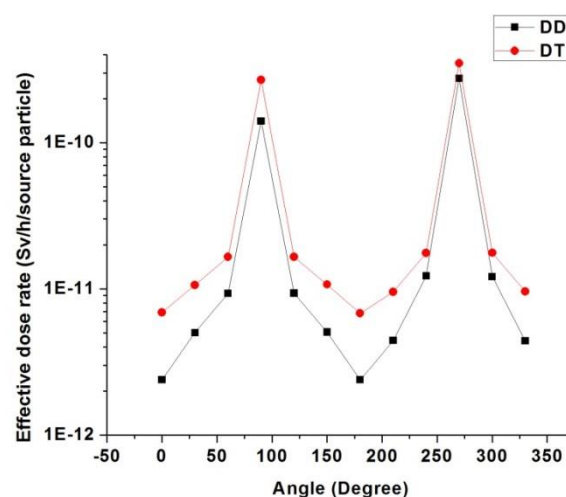
$$D(\text{mrem/h}) = \frac{f.S}{4\pi r^2} \quad (۲)$$

که در آن f ضریب تبدیل شار به دز بر حسب $[(mrem/h)/(n/cm^2.s)]$ ، S شدت چشمه بر حسب (n/s) و r فاصله از چشمه بر حسب (cm) می باشد. مقدار f برای چشمه DT برابر $0,168$ بر اساس این رابطه میزان دز در فاصله یک متری از یک چشمه DT با شدت (n/s) $1,0 \times 10^8$ برابر $(mrem/h)$ 130 می باشد که این کمیت بر اساس محاسبات MCNPX برابر $(mrem/h)$ 134 است که نشان دهنده صحت قابل قبول محاسبات می باشد.

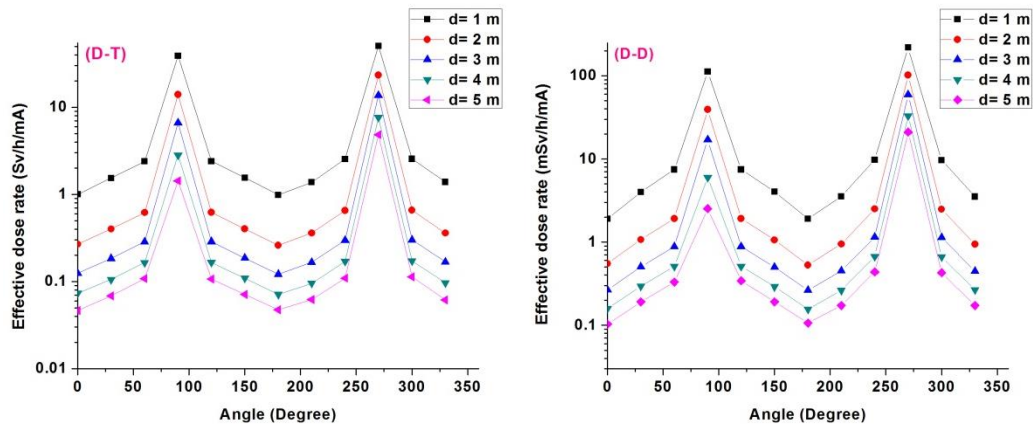
نتایج:

شکل (۳) نمودار توزیع فضایی دز در فاصله یک متری مولد نوترون را برای دو حالت DD و DT و به ازای یک نوترون نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود میزان نرخ دز وابستگی شدیدی به زاویه نسبت به باریکه دارد به گونه ای که در زوایای 90 و 270 درجه بیشتر مقدار و در زوایای صفر، 180 و 330 درجه کمترین مقدار را دارد. همچنین همانطور که انتظار می رفت دز ناشی از نوترون های DT بیشتر از نوترون های DD است. لازم به ذکر است که میانگین شدت تولید نوترون در مولدهای DT حدود صد برابر بزرگتر از مولدهای DD است.

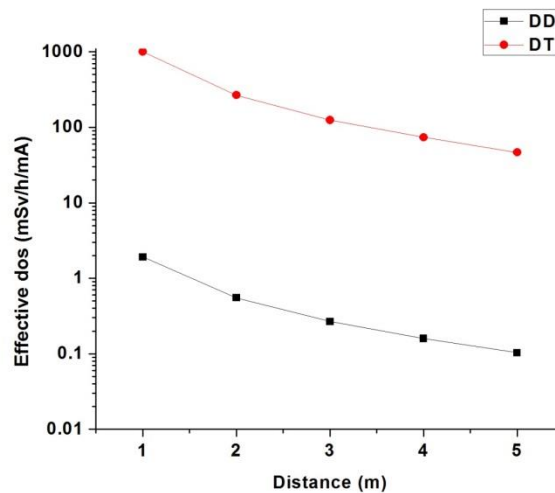
با در نظر گرفتن شدت نوترون (S) برای هر نوع مولد، نرخ دز موثر مطابق شکل (۴) بدست خواهد آمد که نشان می دهد که نرخ دز موثر در مولدهای DT بسیار بزرگتر از مولدهای DD است. شکل (۵) میزان نرخ موثر را بر حسب فاصله برای زاویه صفر درجه نشان می دهد.



شکل (۳) توزیع فضایی دز در فاصله یک متری از مولد نوترون



شکل (۴) توزیع فضایی دز در اطراف مولد نوترون



شکل (۵) نرخ دز در زاویه صفر درجه بر حسب فاصله از مولد نوترون

بحث و نتیجه‌گیری:

نتایج نشان می‌دهد که دز ناشی از نوترون در مولدهای نوترونی وابسته به زاویه قرارگیری نسبت به دستگاه و نیز نوع مولد نوترونی است. دز ناشی از مولدهای DT حدود ۵۰۰ برابر بیشتر از مولدهای DD است. لازم به ذکر است که دز واقعی باید بیشتر از مقدار محاسبه شده در این تحقیق باشد زیرا در اینجا دز ناشی از پرتوهای ایکس در نظر گرفته نشده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش فاصله تا پنج متر میزان دز حدود بیست برابر کاهش می‌یابد. با این وجود لازم است تا کاربر فاصله بیشتری از دستگاه داشته باشد. نکته دیگر اینکه تمام محاسبات ارائه شده به ازای یک میلی آمپر گزارش شده اند حال آنکه جریان دوترون در برخی دستگاه‌ها در حد صد میکروآمپر است که با لحاظ نمودن آن در محاسبات مقادیر دز یک دهم

مقادیر گزارش شده خواهند شد. به طور کلی استفاده بهینه و کاربردی از مولدهای نوترون نیازمند توجه ویژه به پرتوگیری کارکنان است و ایجاد فضای مناسب جهت ایستادن کاربر در حداکثر فاصله از مولد نوترون و نیز ساخت یک حفاظ مناسب ضروری می باشد.

مراجع:

- 1- Lu, Xiaolong, et al. "Design of a high-current low-energy beam transport line for an intense DT/DD neutron generator." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 811 (2016): 76-81.
- 2- Vainionpaa, Jaakko H., et al. "Development of high flux thermal neutron generator for neutron activation analysis." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 350 (2015): 88-93.
- 3- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP, pp. 2-4.
- 4- Csikai, G.J., 1987. CRC Handbook of Fast Neutron Generators. CRC Press.
- 5- ANS, ANSI/ANS-6.1.1-1977: Neutron and Gamma-Ray Fluence-To-Dose Factors American Nuclear Society, LaGrange Park, IL, 1977
- 6- Chichester, D. L., et al. "Dose profile modeling of Idaho National Laboratory's active neutron interrogation laboratory." Applied Radiation and Isotopes 67.6 (2009): 1013-1022.