

بررسی شارنوترون و فوتون خروجی از موازی ساز برای رادیوگرافی توسط کد MCNP

پیمان شایان^{۱*}، محمد رضا عبدی^۱، نوید ایوبیان^۲

۱- دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم، گروه فیزیک

۲- دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری نوین، گروه مهندسی هسته ای

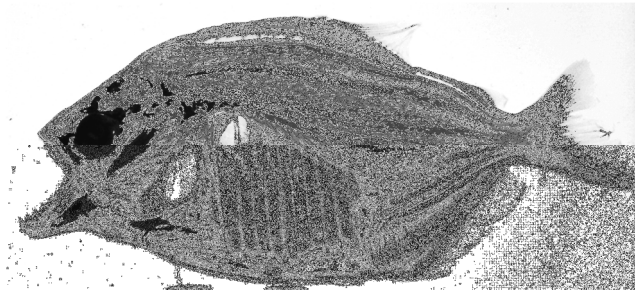
چکیده

هدف این تحقیق به دست آوردن پارامترهای بهینه برای طراحی سیستم موازی ساز نوترونی است. با استفاده از محاسبات مونت کارلو برای بهینه سازی پارامترها از آزمایش های پرهزینه و پردازش های اشتباه در طراحی موازی ساز اجتناب می کنیم و اطلاعات مفیدی در این زمینه به دست می آوریم. با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو بررسی هر جزئی از یک بخش از کل سیستم ممکن می شود.

واژه های کلیدی: رادیوگرافی نوترونی، موازی ساز، صفحه ی تصویر، کندساز

۱- مقدمه

از دهه ۱۹۹۰ تا به امروز، سیستم های تصویربرداری برای آنالیز تصاویر و رادیوگرافی نوترونی استفاده شدند، که افزایش آشکار سازهای موجود مثل، پرده های سوسوزن نازک تر و پیشرفت آشکارسازهای جدید مثل، ورقه میکروکانال سبب بهبود قدرت تفکیک شده اند. نوترون ها می توانند کنتراست خوبی برای اتم های سبک در حضور اتم های سنگین فراهم نمایند، همانند تصویر نوترونی از یک ماهی.



شکل ۱- رادیوگراف نوترونی از یک ماهی [۱].



رادیوگرافی نوترونی با اندازه گیری شار نوترونی تضعیف شده با استفاده از یک آشکارساز نوترونی حساس به موقعیت یک تصویر از نمونه به وجود می آورد. چون این تکنیک بر مبنای تضعیف از پرتو موازی شده است، هر دو فرآیند پراکندگی و جذب برای خلق یک تصویر در تغییرات شدت نتیجه بخش خواهد بود. مواد با عدد اتمی پایین مانند هیدروژن به علت پراکندگی به راحتی تصویر می شوند، در حالی که بور و کادمیوم به علت جذب قویشان به آسانی تصویر می شوند. به طور کلی، یک سیستم رادیوگرافی نوترونی شامل یک چشمه ی نوترون، یک کندساز برای تهیه نوترون های گرمایی، یک روزنه و یک موازی ساز برای مرتب کردن نوترون ها به یک پرتو، و یک آشکارساز برای متصور ساختن تصویر است.

فرآیندهای لازم برای رادیوگرافی نوترونی عبارتند از:

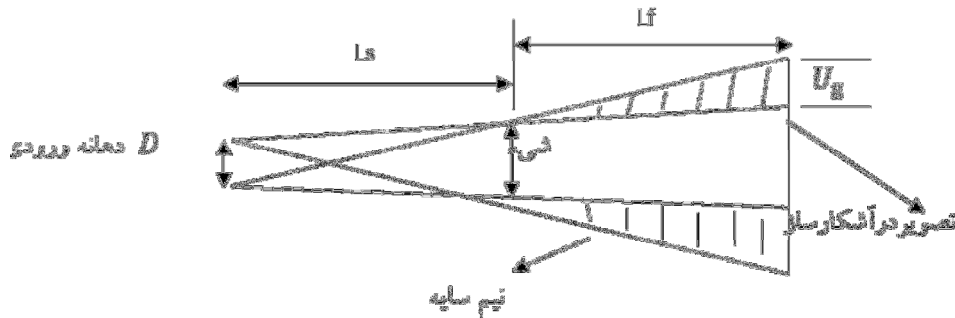
۱- **کند سازی:** رادیوگرافی نوترونی معمولی، به نوترون هایی در حد انرژی گرمایی یا شبه گرمایی از 0.025eV تا 10keV نیاز دارد. بنابراین تعدادی کندساز برای آهسته کردن نوترون ها در این محدوده ی انرژی با سطح مقطع جذب نوترونی پایین برای بیشینه ی شار و سطح مقطع پراکندگی بالا برای بیشینه ی افت انرژی لازم است. موادی که اغلب برای کندسازها استفاده می شوند عبارتند از: آب، آب سنگین، گرافیت، برلیوم و پلی اتیلن.

۲- **موازی سازی:** وقتی نوترون های کم انرژی تولید شدند آن ها باید به یک پرتو قابل استفاده فرم بگیرند، چون نوترون ها به خاطر بار الکتریکی خنثی شان همانند الکترون ها نمی توانند متمرکز شوند به صورت کتره ای در کندساز پراکنده می شوند. دیواره های موازی ساز با یک ماده ی مات نوترونی که سطح مقطع جذب بالایی داشته باشد همانند بور، گادولینیوم و کادمیوم خط کشی می شوند که از لحظه ی ورود جلوی منحرف شدن نوترون ها را می گیرد و هم چنین زاویه ی کوچک پراکندگی درون موازی ساز را کاهش می دهد [۲]. شار نوترون گرمایی در تأسیسات رادیوگرافی از 1×10^9 تا 1×10^5 n/cm²/s است [۳]. البته مطلوب است که برای رسیدن به شار نوترون گرمایی تا جایی که ممکن است صرف نظر از روش تصویربرداری، یک سازشی بین شار و رزولوشن هندسی تصویر برقرار سازیم [۴]. نسبت $\frac{L}{D}$ یک پارامتر مشخصه ای از هر موازی ساز است. نسبت $\frac{L}{D}$ شار نوترونی در خروج از موازی ساز و غیرتیزی تصویر را مشخص می کند. شار نوترونی در خروج از موازی ساز به طور تقریبی برابر است با:

$$\Phi = \frac{\Phi_0 A}{4\pi L^2} = \frac{\Phi_0 (\pi D^2/4)}{4\pi L^2} = \frac{\Phi_0}{16} \left(\frac{L}{D}\right)^{-2} \quad (1)$$

که Φ_0 شار نوترونی در ورود به موازی ساز، Φ شار نوترونی در خروج از موازی ساز، A مساحت روزنه ورودی موازی ساز است. افزایش D یا کاهش L سبب کوچک تر شدن نسبت $\frac{L}{D}$ می شود. از طرفی، افزایش

شار نوترونی توسط کاهش نسبت $\frac{L}{D}$ تیزی هندسی تصویر را تنزل می بخشد. شکل زیر رابطه ی بین هندسه ی تصویر و غیرتیزی هندسی را نشان می دهد.

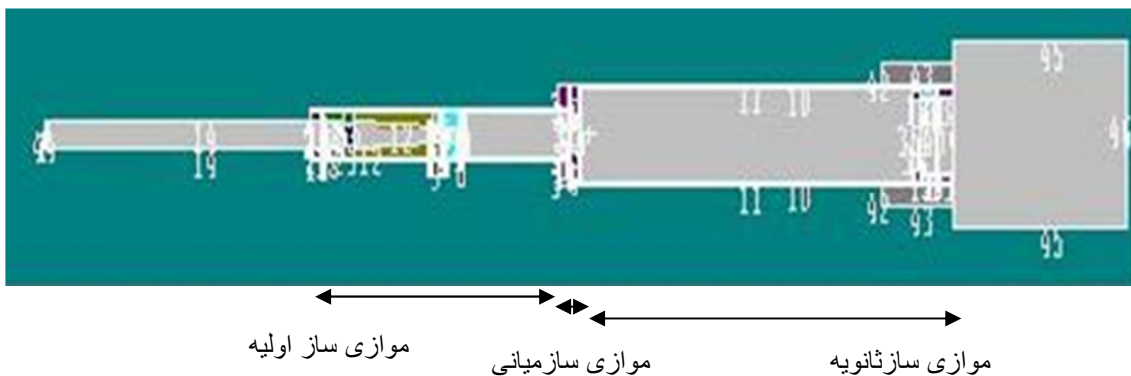


شکل ۲- غیرتیزی هندسی. در شکل، نیم سایه بخشی از تصویر است که فقط قسمتی از پرتو اولیه ی قطع شده توسط شیء است که غیرتیزی تصویر را معین می کند.

$$U_g = \frac{L_f}{L_s} D = \left(\frac{L}{D}\right)^{-1} L_f \quad (2)$$

معادله های ۱ و ۲ در نقطه ی مقابل هم قرار دارند یعنی، درحالی که برای شار نوترونی بالاتر باید نسبت $\frac{L}{D}$ کاهش یابد برای رزولوشن هندسی بیشتر باید نسبت $\frac{L}{D}$ افزایش پیدا کند [۵]. از طرفی چون آشکارساز مورد استفاده در تصویربرداری دارای رزولوشن ذاتی است مطلوب نیست که غیرتیزی هندسی کم تر از رزولوشن آشکارساز. برای فراهم ساختن انعطاف پذیری در نسبت $\frac{L}{D}$ می توان توسط حرکت دادن نمونه و آشکارساز به عقب و جلودر امتداد خط چشمه-آشکارساز به یک نسبت $\frac{L}{D}$ متغیر رسید.

در شکل ۳ اجزای اصلی موازی ساز طراحی شده توسط کد MCNP را نشان داده ایم:

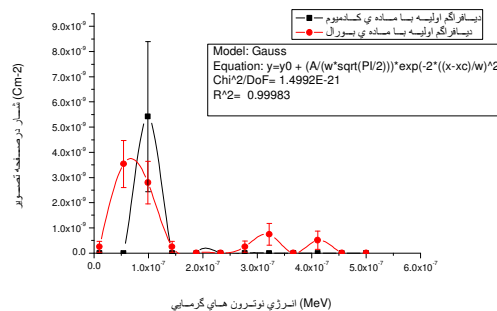


شکل (۳): هندسه ی کل سیستم رادیوگرافی نوترونی توسط کد MCNP

با قرار دادن مواد مطلوب با اندازه ها و ابعاد مناسب در یک محفظه ی آلومینیومی و استفاده از کد MCNP پارامترهای بهینه برای طراحی موازی ساز نوترونی استخراج گردید.

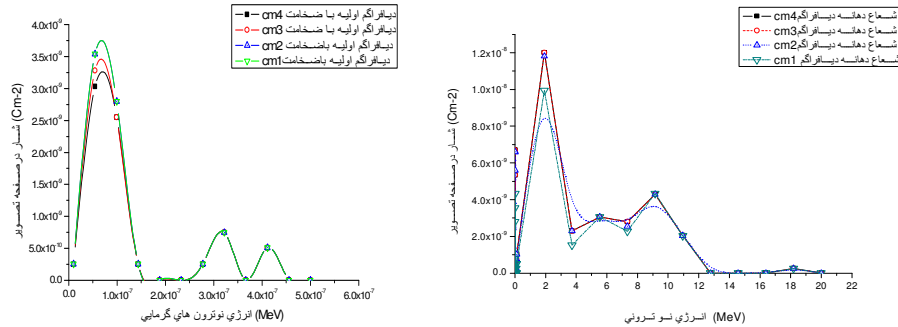
۳- بحث و نتیجه گیری

مواد به کار رفته در موازی ساز: مواد استفاده شده در موازی ساز با در نظر گرفتن پارامترهایی از قبیل، سبکی، هزینه ی کم و تراشکاری آسان انتخاب شدند که عبارتند از: آلومینیوم: چون سبک وزن و ارزان است و قدرت قابل قبول و قابلیت تراشکاری خیلی خوبی دارد برای بدنه ی موازی ساز استفاده می شود. هم چنین سطح مقطع جذب و پراکندگی نوترونی نسبتاً پایینی دارد. بورال: چون دارای بور است که سطح مقطع جذب نوترون گرمایی خیلی بالایی دارد و شدیداً فعال نمی شود. بورال به سختی تراشکاری می شود اما به آسانی با استفاده از برش سریع آب بریده می شود. سرب و بیسموت: برای حفاظ بندی گاما استفاده می شوند. سرب چون قابل دسترس تر است، حفاظ گامای بهتری از بیسموت است. هم چنین سرب می تواند بدون سختی زیاد تراشکاری شود. بورپلی اتیلن و نیتريدبور: برای حفاظ بندی نوترون در خارج از حجم پرتو استفاده می شوند. چون هر دوی آن ها قابلیت تراشکاری خوب و سطح مقطع جذب بالایی دارند.



شکل ۴- تغییرات شار نوترون های گرمایی در صفحه ی تصویر در نتیجه ی استفاده دیافراگم اولیه با کادمیوم یا بورال

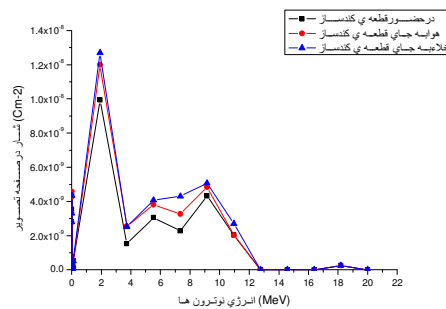
با توجه به شکل ۲ با انتخاب $d_1 = 12.73cm$ و $d_2 = 22cm$ و $L_2 = 350cm$ مکان بهینه ی دیافراگم اولیه در $L_1 = 128.29cm$ به دست می آید. بدین صورت که چشمه را در $x = -86.29cm$ و صفحه ی تصویر را در $x = 263.71cm$ قرار دادیم. از طرفی دهانه ی موازی ساز را در $x = 0cm$ تعریف کردیم. که با توجه به اندازه ی به دست آمده ی موازی ساز ($20.8cm$) فاصله ی تصویر تا انتهای موازی ساز $55.71cm$ گردید. شدت نوترون در صفحه ی تصویر هم چنان که دیافراگم اولیه از مکان بهینه اش دور می شود کاهش می یابد.



شکل ۵- تغییرات شار نوترونی برای قطرهای ضخامت های مختلف دیافراگم اولیه در صفحه ی تصویر

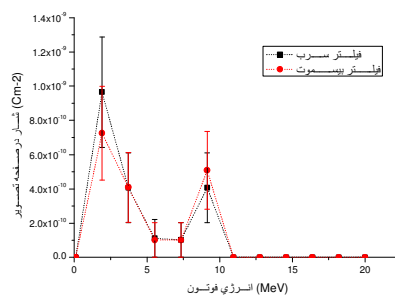
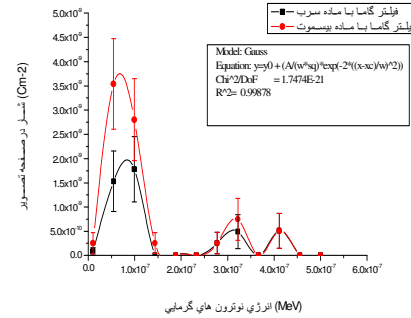
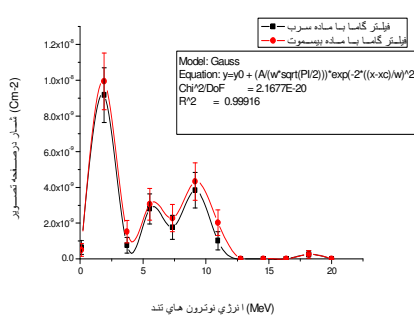
که مشاهده می شود بهترین شار از دهانه ی دیافراگم باشعاع اسانتی متر حاصل می شود.

جزئیات تغییرات نوترونی در طیف نوترونی توسط قطعه ی کندساز با استفاده از محاسبات **mcnp** به دست می آید. با رسم نمودارهای مربوط به شار در صفحه ی تصویر برای موازی ساز با حضور قطعه ی کندساز و مقایسه ی آن بدون حضور قطعه ی کندساز، ملاحظه می شود که شار نوترون های غیر گرمایی در حضور قطعه ی کندساز کاهش می یابد و به سمت صفر میل می کند، همان گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- شار در صفحه ی تصویر با حضور قطعه ی کندساز و مقایسه ی آن بدون حضور قطعه ی کندساز

برای فیلتر گاما ضخامتی حدود 3cm از بیسموت انتخاب شد. چون بیسموت همانند آن چه در شکل ۷ نشان داده شده ضریب تضعیف گامای بالایی دارد و نوترون های گرمایی را نسبت به سرب کم تر تضعیف می کند.



شکل ۷- تغییرات شار نوترون گرمایی وتند وفوتون ها در صفحه ی تصویر در نتیجه ی استفاده از فیلتر گاما با ماده ی سرب یا بیسموت

۴- مراجع

- [1] R. Lanza, Neutron techniques for detection of explosives in Y. Yinon, ed., Counterterrorist Detection Techniques of Explosives, Elsevier, Amsterdam, pp. 131–155 (2007).
- [2] "Collimators for Thermal Neutron Radiography-An Overview," Compiled by Domanus J.C., D.Reidel Publishing Company, 1987.
- [3] J.C.Domanus, Ed. "Practical Neutron Radiography", Kluwer Academic publishers (1992).
- [4] J.P.Barton. "Divergent Beam Collimator for Neutron Radiography ", Material Evaluation, 45 A (1967).
- [5] Ian S. Anderson, Robert L. McGreevy, and Hassina Z. Bilheux, " Neutron Imaging and Applications", Springer & ScienceBusiness Media, LLC, 233 Spring Street, New York, NY 10013, USA, pp. 67-73 (2009).