



مقایسه تصویربرداری درون میله‌های سوخت مجازی به وسیله تابش‌های ایکس و نوترون

جواد، امامی؛^۱ فائزه، رحمانی؛^۱ فریدون، عباسی دوانی؛^۱ حسین، خلفی؛^۲ حسین، قدس^۲

^۱دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها
^۲سازمان انرژی اتمی - پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده

در این مقاله ساختار قطعه‌ای از سوخت مجازی با غلاف آلیاژ زیرکونیوم به ارتفاع ۱۵ cm و ضخامت ۰/۰۸۲۵ cm با لایه هلیوم به ضخامت ۰/۰۲۲۵ cm داخل آن و نیز قرص‌های سربی به شعاع ۰/۵۷۵ cm و ارتفاع ۱/۵ cm با استفاده از چشمه اشعه X و نوترون حرارتی بررسی شده است. هندسه در کد MCNPX تعریف شد و با به کارگیری تالی رادیوگرافی، نوترون‌ها و فوتون‌های عبوری در شبکه‌ای پشت میله سوخت مجازی برای ایجاد تصاویر رادیوگرافی ثبت شدند. نتایج بدست آمده از رادیوگرافی نوترونی و نیز مقایسه آن با نتایج ناشی از رادیوگرافی X مبین امکان پذیر بودن این راهکار برای تصویربرداری از میله‌های سوخت مجازی ساخته شده در فرایند کنترل آنها نشان می‌دهد.

کلید واژه: رادیوگرافی نوترونی - رادیوگرافی اشعه X - میله سوخت مجازی - نوترون حرارتی - کد MCNPX

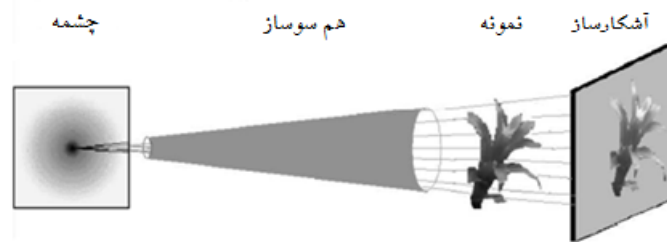
مقدمه

تاریخچه رادیوگرافی بعنوان یک روش غیر مخرب جهت آشکار نمودن خصوصیات داخلی اجسام، به زمان کشف اشعه ایکس در سال ۱۸۹۵ بازمی‌گردد که یک تصویر رادیوگرافی با استفاده از یک تیوب خلأ ولتاژ بالا و پرده فلورسانس بدست آمد [۱]. اولین رادیوگرافی نوترونی نیز در دهه ۱۹۳۰ با یک شتاب‌دهنده کوچک انجام گرفت. اولین رادیوگرافی نوترونی با استفاده از نوترون‌های حرارتی حاصل از راکتور در سال ۱۹۵۶ انجام شد [۲ و ۳]. از مزیت‌های خاص رادیوگرافی نوترونی نسبت به رادیوگرافی اشعه ایکس می‌توان به عبور آسان آن از جداره فلزی مواد منفجره و نمایش مواد منفجره داخل آن‌ها، امکان نمایش مواد هیدروژنه در داخل لوله‌های پرچگال و همچنین توانایی رادیوگرافی از مواد رادیواکتیو نظیر میله‌های سوخت راکتورها، اشاره کرد که این امر موجب گسترش کاربردهای آن در صنایع هسته‌ای و نظامی گردید [۴ و ۵].

از الزامات تولید میله‌های سوخت، هم محور بودن قرص‌های سوخت و کنترل کیفیت آن با تست‌های مختلف و تصویر برداری از آن است. بیم‌تیوب‌ها از تجهیزات قابل دسترس در راکتور تحقیقاتی تهران برای تأمین باریکه‌های فوتون و نوترون هستند. با توجه به مطالب ذکر شده، رادیوگرافی نوترونی یکی از این گزینه‌هاست که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود. علاوه بر این موضوع می‌توان بر اساس طراحی یک چیدمان تصویربرداری نوترونی در راکتور تهران، از آن برای کاربردهای مختلف نظیر صنایع فضایی، تولید لاستیک و پلاستیک و ... استفاده کرد [۶ و ۷].

روش کار

اصول اساسی رادیوگرافی نوترون در شکل ۱ نشان داده شده است. اساس آن مشابه رادیوگرافی ایکس مبتنی بر تضعیف باریکه در عبور از نمونه است. نمونه مورد مطالعه، در مسیر باریکه موازی شده‌ای از نوترون‌ها قرار می‌گیرد و باریکه فرودی بر اثر اندرکنش‌های پراکندگی و جذب با هسته‌های اتمی موجود در عناصر نمونه، تضعیف شده، سپس باریکه عبوری از نمونه آشکارسازی و ثبت می‌شود. آشکارسازی که در پشت نمونه قرار دارد، یک تصویر دو بعدی از نمونه می‌دهد، لذا اطلاعات در مورد مشخصات و ساختار داخلی نمونه بدون تخریب آن حاصل می‌شود. در نهایت هر گونه ناهمگنی موجود در ساختار داخلی و یا عیب‌هایی مثل خلأ، ترک و تخلخل با تغییر در شدت ثبت شده در پشت نمونه آشکار می‌شود [۸].

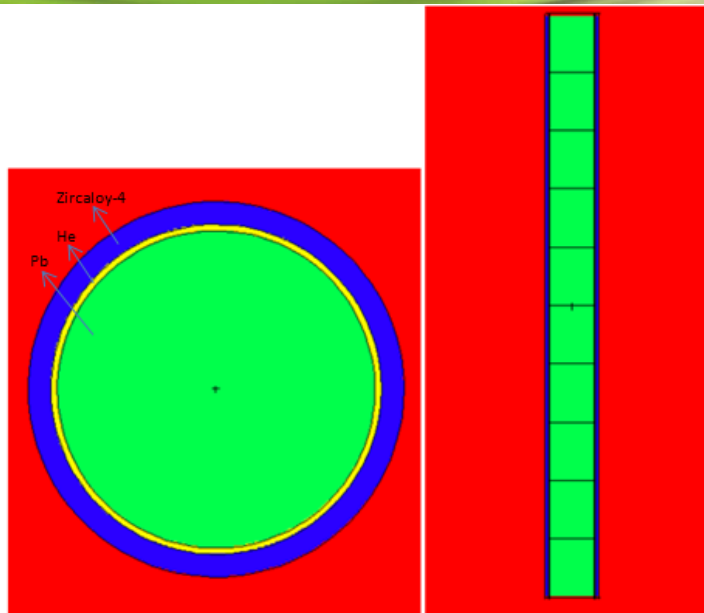


شکل ۱ نحوه چیدمان در رادیوگرافی نوترونی [۸]

محاسبات و شبیه‌سازی

برای بدست آوردن تصاویر رادیوگرافی از نمونه‌هایی که در مقابل باریکه‌ای از ذرات (فوتون، نوترون) قرار گرفته‌اند، از تالی رادیوگرافی موجود در کد MCNPX استفاده شده است. با بکارگیری تالی رادیوگرافی به روش طرح تصویر انتقالی (transmitted image projection) می‌توان شبکه‌ای را به عنوان صفحه‌ی آشکارساز تعریف نمود که این شبکه، آرایه‌ای از آشکارسازهای نقطه‌ای می‌باشد. این شبکه همانند یک فیلم رادیوگرافی در تصویربرداری پرتوئی عمل می‌کند [۹].

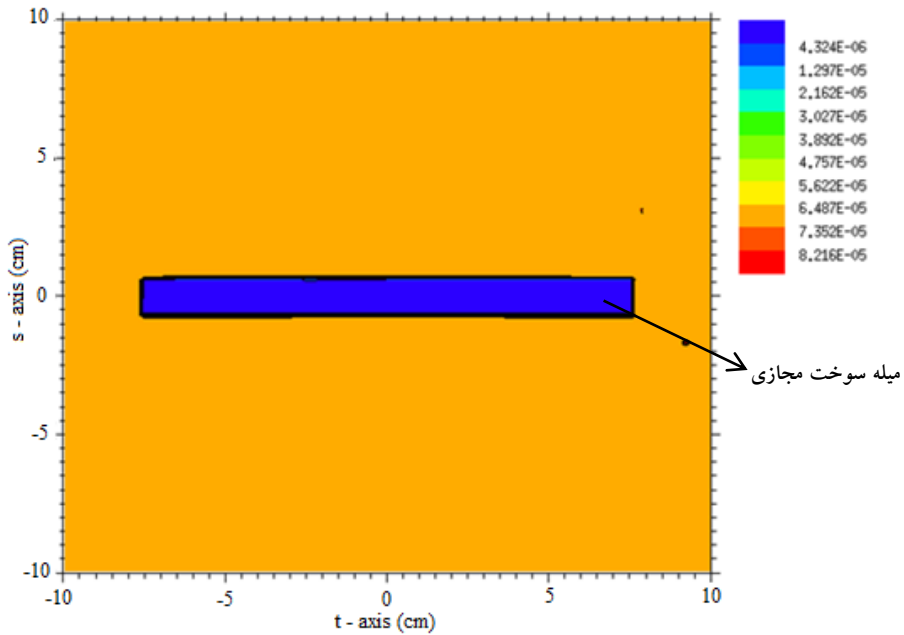
در این مقاله ساختار قطعه‌ای از سوخت مجازی با غلاف آلیاژ زیرکونیوم (۴-Zircaloy) به ارتفاع ۱۵ cm و ضخامت ۰/۰۸۲۵ cm که درون آن لایه هلیوم به ضخامت ۰/۰۲۲۵ cm و قرص‌های سربی به شعاع ۰/۵۷۵ cm و ارتفاع ۱/۵ cm شبیه‌سازی (شکل ۲) و در مقابل نوترون‌های حرارتی (۰/۰۲۵۳ eV) قرار داده شده است. لازم به ذکر است که این باریکه نوترون حرارتی در امتداد هر یک از بیم‌تیوب‌های راکتور تحقیقاتی تهران با حذف سایر پرتوهای مزاحم و طراحی ادوات مربوط قابل انجام خواهد بود که در ادامه توسعه این کار به آن پرداخته می‌شود. برای مقایسه و ارزیابی میزان کارآمد بودن این روش، تصویربرداری با لامپ اشعه ایکس با انرژی بیشینه ۲۲۰ keV نیز انجام شده است.



شکل ۲. نمایی از میله سوخت مجازی (شکل سمت راست) و برش عرضی از میله سوخت مجازی (شکل سمت چپ)

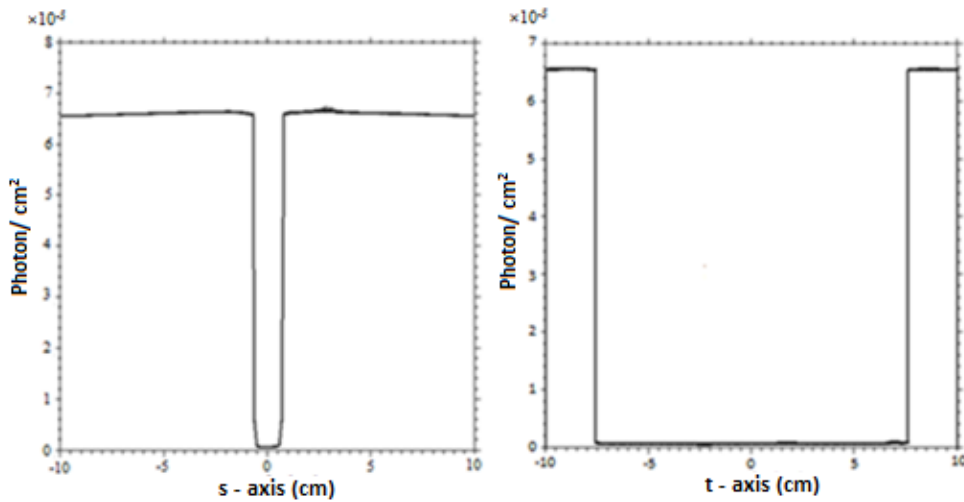
نتایج

برای این کار، طیف انرژی دستگاه اشعه ایکس نوع CERAM-۳۵ با انرژی بیشینه ۲۲۰ keV شبیه سازی شده است و میله سوخت مجازی در فاصله ۱۰۰ cm از چشمه مربعی $2/5 \times 2/5 \text{ mm}^2$ اشعه ایکس (زاویه واگرایی باریکه ۴۰ درجه) برای رادیوگرافی ایکس قرار داده شد و به کمک تالی رادیوگرافی، توزیع شار اشعه ایکس روی شبکه‌ای با آرایه 200×200 (واقع در پشت میله سوخت مجازی) حاصل شد (شکل ۳). لازم به ذکر است که محاسبات به ازای یک ذره چشمه انجام شده است.



شکل ۳ تصویر میله سوخت مجازی با استفاده از رادیوگرافی اشعه ایکس

شکل ۴، تغییرات شار اشعه ایکس را در امتداد شعاعی و نیز در امتداد محور میله سوخت مجازی نشان می‌دهد.



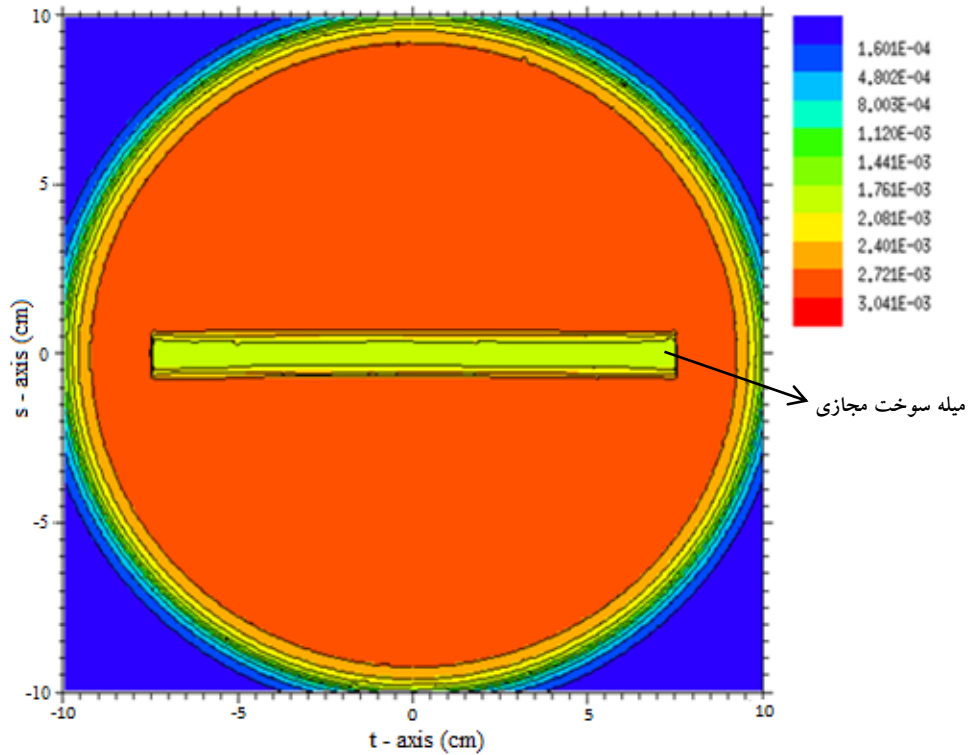
شکل ۴ تغییرات شار اشعه ایکس در امتداد شعاعی (سمت چپ) و در امتداد محور (سمت راست) میله سوخت مجازی

همانطور که دیده می‌شود، اشعه ایکس با این انرژی قابلیت نفوذ به میله سوخت مجازی و عبور از آن را ندارد، لذا برای تصویر برداری از میله سوخت مجازی مناسب نیست.

با قرار دادن میله سوخت مجازی در فاصله ۲۶۷/۷۷ cm از یک چشمه نوترون حرارتی دیسکی شکل به شعاع ۰/۹ cm (زاویه واگرایی باریکه ۲/۱۳ درجه)، تصویر رادیوگرافی نوترونی نیز بدست آمد.

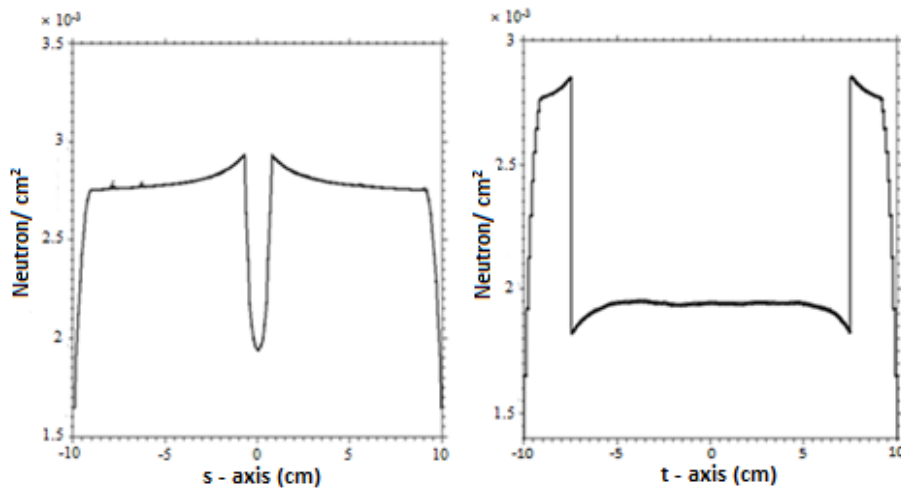


شکل ۵، توزیع شار نوترون‌های حرارتی روی شبکه‌ای با آرایه 200×200 که در پشت میله سوخت مجازی قرار دارد را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود با توجه به قابلیت عبور نوترون‌های حرارتی، قسمت‌های مختلف داخل میله سوخت مجازی قابل مشاهده است.



شکل ۵ تصویر میله سوخت با استفاده از رادیوگرافی نوترونی

شکل ۶، تغییرات شار نوترون‌های حرارتی را در امتداد شعاعی و نیز در امتداد محور میله سوخت مجازی نشان می‌دهد.



شکل ۶ تغییرات شار نوترون‌های حرارتی در امتداد شعاعی (سمت چپ) و در امتداد محور (سمت راست) میله سوخت مجازی



نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده، رادیوگرافی نوترونی میله‌های سوخت مجازی (با نوترون حرارتی) می‌تواند یک روش مناسب برای بررسی مشخصه‌های ظاهری در کنترل آن‌ها محسوب شود که این کار به دلیل مواد تشکیل دهنده میله سوخت با تصویربرداری ایکس قابل انجام نیست. برای تأمین شار حرارتی مورد نیاز می‌توان از بیم‌تیوب‌های راکتور تحقیقاتی تهران با قرار دادن تجهیزاتی، باریکه‌ای موازی و یکنواخت از نوترون‌های حرارتی بدست آورد و به عنوان چشمه نوترون حرارتی در تصویربرداری نوترونی استفاده کرد.

منابع

- [۱] Harms, Archie A. , and Douglas R. Wyman. Mathematics and Physics of Neutron Radiography. Vol. ۱. Springer, ۱۹۸۶
- [۲] C.B. Shaw, J.L. Cason, "Materials Evaluation", vol.۲۹, ۱۹۷۱.
- [۳] Walker, J. "Radiography with neutrons." Proceeding of a conference held at university of Birmingham on. Vol.۱۰, ۱۹۷۳.
- [۴] von der Hardt, Peter, and Heinz Rottger, Neutron Radiography Handbook: Nuclear Science and technology. D. Reidel, ۱۹۸۱.
- [۵] Berger, Harold. Practical Applications of Neutron Radiography and gaging, vol.۵۸۶. ASTM International, ۱۹۷۶.
- [۶] Anderson, Ian S., Hassina Z. Bilheux, and Rober L. McGreevy. Neutron Imaging and Applications. Springer, ۲۰۰۹.
- [۷] Fujine, Shigenori. Neutron Radiography(۳): Proceedings of the third world conference, Osaka, May ۱۴-۱۸, ۱۹۸۹. kluwer Academic pub, ۱۹۹۰.
- [۸] Shaikh, A.M. "Neutron Radiography Facility at CIRUS Reactor for NDT Applications." Proceedings of the National Seminar & Exhibition on Nondestructive Evaluation, ISNT-NDE. ۲۰۰۹
- [۹] Pelowitz, Denise B. "MCNPX TM USER'S MANUAL." (۲۰۰۸).