



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## بررسی امکان پذیر بودن استفاده از سیستم رادیوگرافی نوترونی برای تحقیق هم محوری قرص های سوخت

جواد امامی<sup>۱</sup>، فریدون عباسی دوانی<sup>۱</sup>، فائزه رحمانی<sup>۲</sup>، حسین خلفی<sup>۳</sup>

۱: دانشکده مهندسی هسته ای دانشگاه شهید بهشتی

۲: دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳: پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

### چکیده:

در این مقاله، امکانپذیر بودن رادیوگرافی نوترونی ساختار قطعه‌ای از میله سوخت مجازی بصورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت و سپس نتیجه آن با تصویر حاصل از رادیوگرافی ایکس مقایسه شد. برای رادیوگرافی نوترونی سیستم رادیوگرافی نوترونی موجود در بیم تیوب H راکتور تحقیقاتی تهران و برای رادیوگرافی ایکس از دستگاه پرتو ایکس با انرژی بیشینه ۲۲۰ keV استفاده شد. پس از پرتودهی و انجام مراحل ظهور و ثبوت بر روی فیلم‌های رادیوگرافی، جزئیات میله سوخت مجازی شامل قرص‌های سربی، غلاف، لایه هلیوم و فنر در تصویر بدست آمده از رادیوگرافی نوترونی با کنتراست نسبتاً خوبی نمایان شدند در حالی که در تصویر حاصل از رادیوگرافی ایکس تنها قرص‌های سربی نمایان شدند.

**کلید واژه:** رادیوگرافی نوترونی، رادیوگرافی ایکس، میله سوخت مجازی، راکتور تحقیقاتی تهران

### مقدمه:

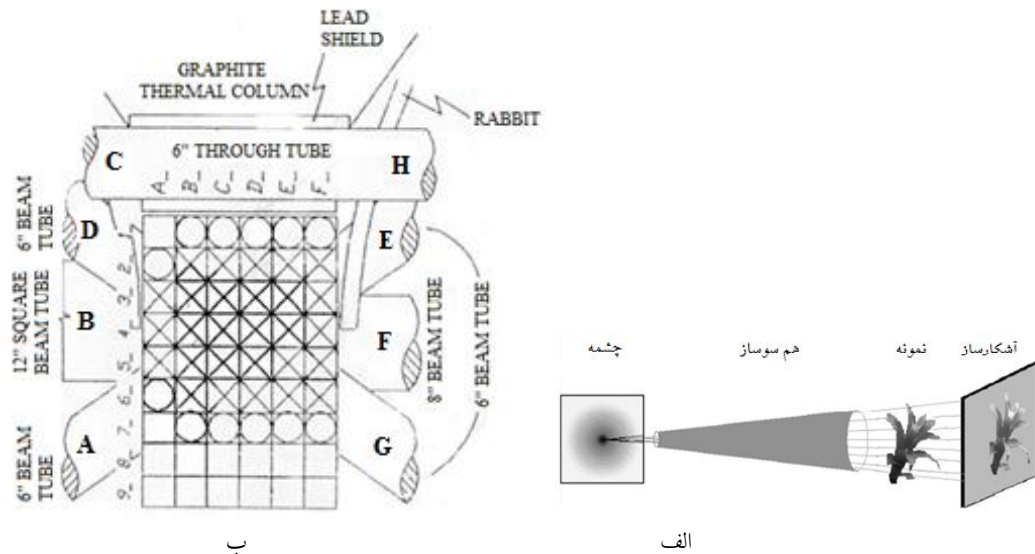
رادیوگرافی نوترونی به عنوان یکی از روش‌های آزمون غیرمخرب مواد، به سرعت در حال توسعه و پیشرفت بوده و دارای مزیت‌های بارزی نسبت به رادیوگرافی پرتوی ایکس (یا پرتوی گاما) معمول است. نوترون با هسته اتم اندرکنش می‌کند، لذا بر اساس سطح مقطع اندرکنش که حتی در دو ایزوتوپ متفاوت است می‌تواند برای تشخیص مواد با عدد اتمی یکسان، مواد با عدد اتمی پائین و یا مواد سبک پوشانده شده با مواد با عدد اتمی بالا استفاده شود [۱ و ۲]. اجزای سیستم رادیوگرافی نوترونی در شکل ۱ (الف) آمده است. اصول پایه‌ای همه روش‌های رادیوگرافی (اشعه ایکس، پرتو گاما و نوترون) تضعیف باریکه در عبور از نمونه می‌باشد. نمونه، در مسیر باریکه هم سو شده‌ای از نوترون‌های حرارتی قرار می‌گیرد و باریکه فرودی بر اثر اندرکنش با هسته‌های اتمی موجود در عناصر نمونه، تضعیف می‌شود و در نهایت باریکه عبوری از شی آشکارسازی و ثبت می‌شود [۳].

راکتور تحقیقاتی تهران (TRR) از نوع استخری و ناهمگن، برای حداکثر قدرت ۵ MW طراحی شده است. موقعیت قرارگیری قلب، ستون حرارتی و بیم تیوب‌های آن در شکل (ب) آورده شده است [۴].



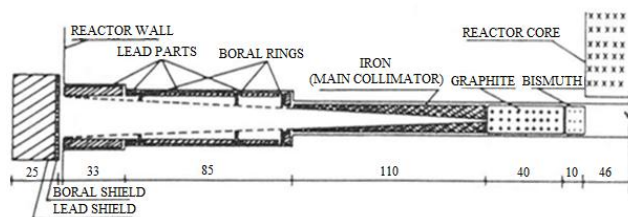
# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۱ (الف) نحوه چیدمان در رادیوگرافی نوترونی [۳]. (ب) موقعیت قلب، ستون حرارتی و بیم تیوب‌ها در راکتور تحقیقاتی تهران [۴].

تجهیزات مربوط به رادیوگرافی نوترونی در تیوب ۶ اینچی سراسری (بیم تیوب H) که در مجاورت لبه بالایی قلب قرار گرفته است، نصب شده است. در شکل ۲، قسمت‌های مختلف هم‌سوساز نصب شده در بیم تیوب ۶ اینچی H نشان داده شده است [۶ و ۵].



شکل ۲ شمای قسمت‌های مختلف هم‌سوساز نصب شده در داخل بیم تیوب سراسری (ابعاد به cm) [۵]

## روش کار

سوخت مجازی جهت تست‌های پیش راه‌اندازی راکتور از قبیل تست‌های هیدرولیکی و هیدرودینامیکی، شارژ مجتمع سوخت در راکتور، بارگذاری، تعویض سوخت‌های مصرف شده با سوخت تازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. تنها تفاوت این مجتمع‌ها با سوخت اصلی، استفاده از قرص‌های سربی به جای قرص‌های اکسید اورانیوم می‌باشد. نمونه کوچکی از میله سوخت مجازی در شکل ۳ (الف) نشان داده شده است.



## بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



(ب)



(الف)

شکل ۳ (الف) نمونه کوچکی از میله سوخت مجازی (مقایسه ابعادی) (ب) دهانه خروجی هم سوساز سیستم نوترون رادیوگرافی در TRR

لازم به ذکر است که در پژوهش قبل [۷]، امکانپذیر بودن رادیوگرافی نوترونی میله سوخت و مقایسه آن با رادیوگرافی ایکس با شبیه سازی با کد MCNPX نشان داده شد که مبین تفاوت تصویر ایجاد شده با دو روش و قابلیت رادیوگرافی نوترون برای ثبت جزئیات داخل میله سوخت مجازی بود.

از نوترون‌های خروجی سیستم رادیوگرافی نوترونی برای تصویربرداری استفاده شده است. بعلت شار نوترونی پائین، ثبت تصویر با روش مستقیم که جزء روش های تأخیری محسوب می‌شود، انجام شده است. در اتاق تاریک، فیلم اشعه ایکس **Structurix D<sub>3</sub>** محصول شرکت آگفا (Agfa) که از نوع سریع و تک پوششی می‌باشد، به همراه مبدل گادولینیوم به ضخامت ۲۵ میکرومتر، کاملاً متصل بهم در داخل کاست رادیوگرافی ضد نور قرار گرفتند و سپس میله سوخت مجازی و غلاف (Zircaloy - 4) به کاست رادیوگرافی چسبانده شدند. مجموعه، در فاصله ۴۰ سانتی متری از دهانه خروجی هم سوساز نصب شده در بیم تیوب H (شکل ۳ (ب)) که مربوط به رادیوگرافی نوترونی می‌باشد، به مدت ۶۰ دقیقه پرتو دهی شد. پس از اتمام پرتو دهی، فیلم در یک اتاق تاریک به دقت از مبدل جدا شده و پس از طی مراحل شیمیایی ظهور، ثبوت و خشک کردن، قابل مشاهده و آماده بررسی شد. لازم به ذکر است که برای توان ۴ مگاواتراکتور، شار نوترون و آهنگ معادل دز گاما در محل نمونه به ترتیب  $1.35 \times 10^4 \frac{n}{cm^2 \cdot sec}$  و  $121.2 \frac{mSv}{h}$  می‌باشد.

از دستگاه اشعه ایکس نوع **CERAM - 35** به عنوان چشمه برای رادیوگرافی اشعه ایکس استفاده شده است. میله سوخت مجازی (شکل ۴)، بین تیوب اشعه ایکس (ولتاژ ۲۲۰ kV، جریان ۲/۵ mA) و فیلم اشعه ایکس (**Kodak - AA400**) به مدت ۳:۴۵ دقیقه قرار داده شد تا تصویر نهفته، روی فیلم ایجاد شود، سپس برای تبدیل تصویر نهفته به تصویر قابل رؤیت، عملیات ظهور، ثبوت و خشک کردن در اتاق تاریک انجام شد.



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## نتایج

بعد از خشک کردن فیلم، تصویر رادیوگرافی نوترونی از میله سوخت مجازی بدست آمد که در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴ تصویر میله سوخت مجازی حاصل از رادیوگرافی نوترونی

همانطور که در شکل ۴ دیده می‌شود، اجزای تشکیل‌دهنده میله سوخت مجازی از قبیل قرص‌های سربی، غلاف، لایه هلیوم و فنر در تصاویر بدست آمده از رادیوگرافی نوترونی با کنتراست نسبتاً خوبی نمایان است. بدیهی است که این نتایج برای بازرسی‌های کیفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورت مجهول بودن ابعاد نمونه مورد بررسی، می‌توان با استفاده از روش‌های پردازش تصویر ابعاد نمونه مجهول را تعیین کرد. تصویر رادیوگرافی اشعه ایکس از میله سوخت مجازی نیز بدست آمد که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳ تصویر رادیوگرافی اشعه ایکس از میله سوخت مجازی

در شکل ۵، اگرچه هشت عدد قرص سربی نمایان است ولی جزئیات تصویر از قبیل ضخامت غلاف زیرکونیوم، فاصله بین قرص‌های سربی تا غلاف (لایه هلیوم) و فنر نمایان نیست.



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## بحث و نتیجه‌گیری

با مقایسه تجربی دو تصویر ایجاد شده صحت آنچه در شبیه‌سازی به دست آمده بود، مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین، استفاده از سیستم رادیوگرافی نوترونی در راکتور تحقیقاتی تهران برای تحقیق هم محوری قرص‌های سوخت در میله‌های سوخت امکان‌پذیر است. پس رادیوگرافی نوترونی (با نوترون حرارتی) میله‌های سوخت مجازی می‌تواند یک روش مناسب برای بررسی مشخصه‌های ظاهری در کنترل آن‌ها محسوب شود که این کار به دلیل مواد تشکیل دهنده میله سوخت مجازی با تصویربرداری اشعه ایکس قابل انجام نیست.

## مراجع

- [1] Anderson, Ian S., Hassina Z. Bilheux, and Rober L. McGreevy. Neutron Imaging and Applications. Springer, 2009.
- [2] Fujine, Shigenori. Neutron Radiography(3): Proceedings of the third world conference, Osaka, May 14-18, 1989. kluwer Academic pub, 1990.
- [3] Shaikh, A.M. Neutron Radiography Facility at CIRUS Reactor for NDT "Proceedings of the National Seminar & Exhibition on Nondestructive Applications. Evaluation, ISNT-NDE.2009.
- [4] Safety analysis report of Tehran Research Reactor, prepared by AEOI, vol.1, (January.2009).
- [5] Moghadam, K. Kamali, and F. Ziaie. "Modification of the neutron beam spectrum for neutron radiography at Tehran Research Reactor (TRR)." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 377.1 (1996): 45-47.
- [6] کیومرث کمالی مقدم، پرتونگاری کامپیوتری نوترون با کمک روش‌های تصویربرداری غیر همزمانی در شارهای پائین، پایان نامه دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده فیزیک و علوم هسته‌ای، تیر ۱۳۷۳.
- [7] جواد امامی، فائزه رحمانی، فریدون عباسی دوانی، حسین خلفی، حسین قدس، مقایسه تصویربرداری درون میله‌های سوخت مجازی به وسیله تابش‌های ایکس و نوترون، بیستمین کنفرانس هسته‌ای ایران، رشت-دانشگاه گیلان، اسفند ۱۳۹۲.