

طراحی و ساخت سیستم رادیوگرافی بانوترون در راکتور مرکز تحقیقات هسته‌ای

زینت طباطبائی، کیومرث کمالی مقدم، ناصر میرحبیبی

مرکز تحقیقات هسته‌ای
سازمان انرژی اتمی

چکیده - بمنظور ایجاد سیستم رادیوگرافی بانوترون در راکتور مرکز تحقیقات هسته‌ای کانالهای باریکه موجود در راکتور از نظر مقدار شار نوترون بیشتر، گامای کمتر و ابعاد مناسب مورد ارزیابی قرار گرفته و کانال باریکه سراسری مناسب و مورد استفاده قرار گرفته است. کلیات سیستم رادیوگرافی از دو قسمت از جنس آهن و سرب انتخاب و پس از طراحی، سطوح داخل و خارج آن از لایه‌ای از کادمیوم به ضخامت ۳ mm بروش الکترولیز پوشانیده شده است. برای کاهش گاما از بیسموت با ابعاد مناسب استفاده گردید و کاهش انرژی نوترون‌ها از فوق حرارتی به حرارتی توسط گرافیت انجام یافته است. نوترون‌های پراکنده شده و همچنین نیمسایه‌ناشی از قطره‌ها نه ورودی کلیما تور، توسط حلقه‌های بورال جذب گردید. پرتو نوترون حاصل از انتهای کلیما تور از نظر همسو و همگن بودن توزیع شار در نقاط مختلف و همچنین مقدار گاما و نوترون‌های فوق حرارتی مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج تجربی $114 L/D$ و 204 بترتیب در محل دیوار راکتور و دیواره اطاقک رادیوگرافی و در قدرت یک مگاوات راکتور بدست آمده است. پارامترهای فیزیکی سیستم ساخته شده شامل میزان شار و تغییرات آن در صفحه رادیوگرافی، نسبت شدت نوترون به گاما، نسبت کادمیوم و نسبت L/D محاسبه شده و با سیستم مشابه در مرکز هارول انگلیس مقایسه شده است.

مقدمه

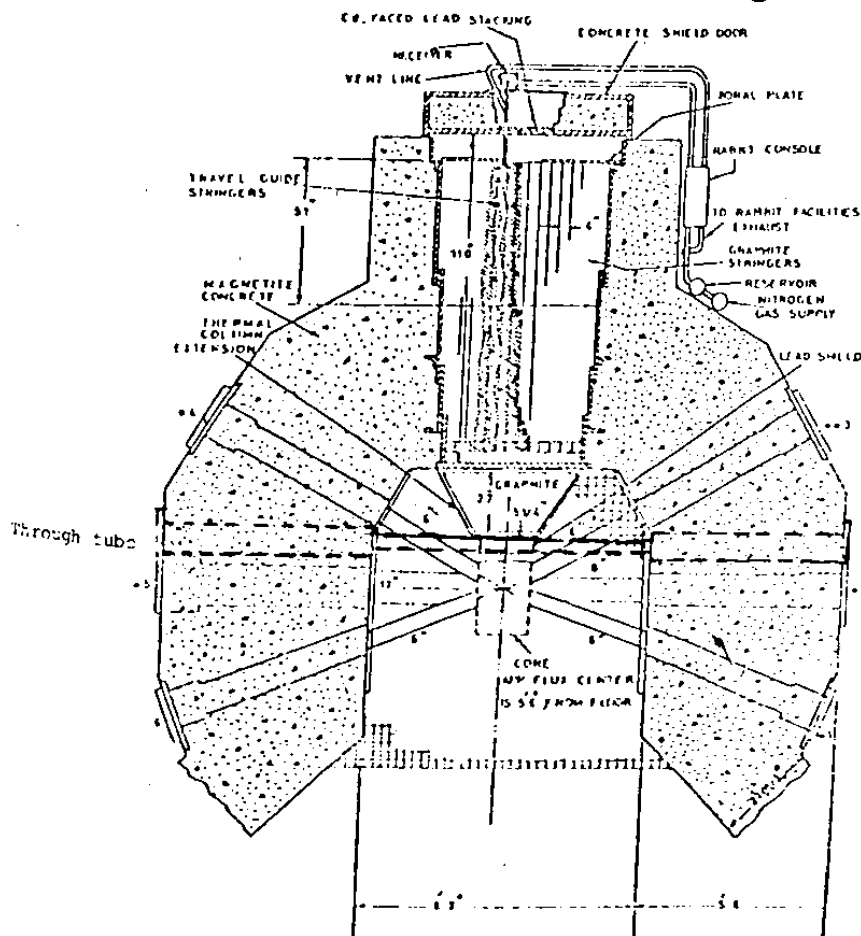
با پیشرفت شیوه‌های مختلف رادیوگرافی و بررسی مشکلات موجود در این شیوه‌ها، برای نفوذ بداخل جسمی که از آن رادیوگراف تهیه می‌گردد استفاده از نوترون برای این منظور از سالهای ۱۹۴۲ شروع و روبه تکامل بوده است. امروزه از این روش برای رادیوگرافی میله‌های سوخت رادیواکتیو تعیین میزان تورم (swelling)، ترک خوردگی (Crack)، سوختن (Burn up) و شکستگی در غلاف سوخت و تغییر در ابعاد آنها، تعیین میزان سوختن میله‌های کنترل و هرگونه تغییرات در

طراحی و ساخت سیستم رادیوگرافی بانوترون در راکتور مرکز تحقیقات هسته‌ای

نمونه‌های رادیواکتیو استفاده می‌شود (۴،۳،۲،۱) . همچنین از این تکنیک در رادیوگرافی اجسام هیدروژن دار جهت رسیدگی میزان روغن و چربی جامد شده در مسیر روغن کاری موتور هواپیماها بررسی میزان هیدروژنه شدن زیرکونیم (Zr) در پوشش میله‌های سوخت (۱) بررسی صحیح پر شدن ماده منفجره در محل ، سلاح پاهسته منفجره بکار می‌رود (۶،۵،۱) . موارد دیگر کاربرد این تکنیک رادیوگرافی از اجسام سنگین (بررسی ساختمان داخلی جسم آهنی (۷) تعیین میزان رادیوایزوتوپها (میزان غنی بودن ^{235}U در میله‌های سوخت (۳،۲،۱) . و کاربرد آن در پزشکی هسته‌ای (۸) می‌باشد .

برای تولید یک رادیوگراف نوترون احتیاج بیک منبع تولید دائمی نوترون می‌باشد . نوترونهای تولید شده پس از حرارتی شدن لازم است بصورت باریکه موازی بر روی نمونه مورد نظرتابیده شود . این جسم بر اثر واکنش جذب یا پخش نوترون باعث ایجاد تغییراتی بر روی شار نوترون می‌گردد . بنابراین شار نوترونی که به آشکارساز می‌رسد دارای وضعیتی است که نمایانگر ساختمان داخلی نمونه می‌باشد .

در این مقاله تکنیک ایجاد سیستم رادیوگرافی با استفاده از یک راکتور نینج مگاواتی بعنوان چشمه نوترونی و نحوه طراحی و ساخت سیستم رادیوگرافی نوترون در مرکز تحقیقات هسته‌ای ارائه می‌گردد . مشخصات پرتو نوترون ایجاد شده بابعضی از پرتوهای مورد استفاده در سایر کشورها مقایسه و مورد بررسی قرار گرفته است .



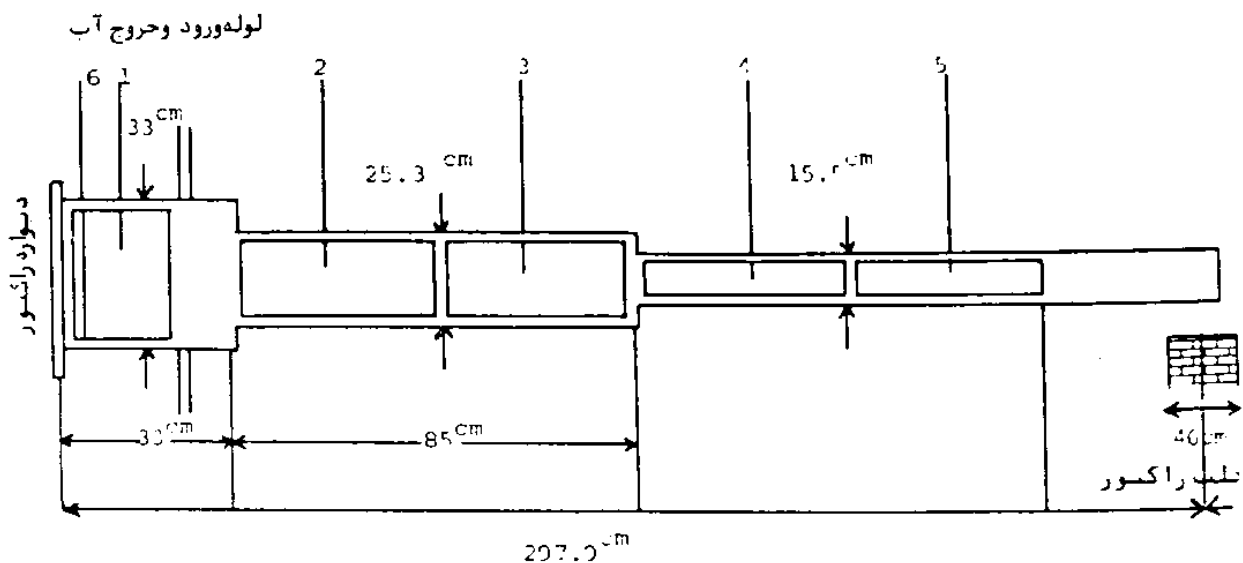
شکل ۱ کانال باریکه های نوترون موجود در راکتور مرکز تحقیقات

۱- انتخاب کانال باریکه برای رادیوگرافی بانوترون

وضعیت و ابعاد کانالهای باریکه موجود در راکتور در شکل ۱ نشان داده شده است کانال باریکه سراسری که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت در بالای قسمت حفاظ سربی (ستون حرارتی) و موازی کانالهای باریکه (۵ و ۲) قرار دارد این کانال باریکه با داشتن شار نوترون $10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{Sec}$ در قدرت 5 MW و قطر ۱۵ سانتیمتر بعلاوه وجود حفاظ سربی در زیر آن به نسبت دارای مقدار پرتو دهی گامای کمتری می باشد بدین جهت برای رادیوگرافی با نوترون مناسبتر خواهد بود. ابعاد قسمتهای مختلف کانال باریکه سراسری با اندازه گیری قطعات سربی و بتونی داخل آن مطابق شکل ۲ تعیین گردید.

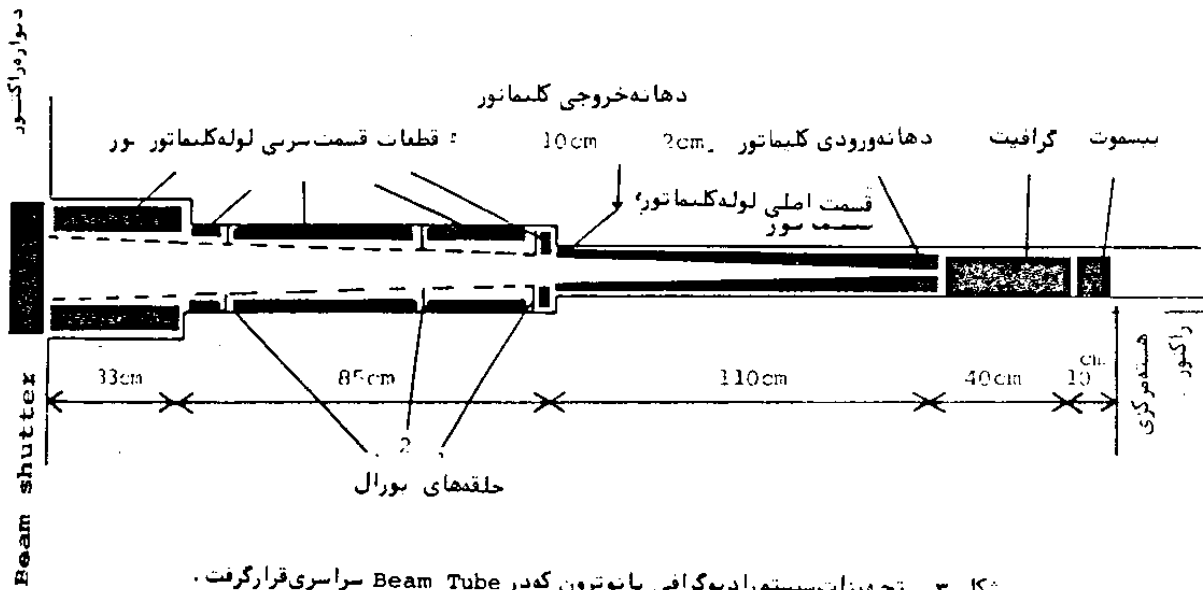
۲- تجهیزات برای ایجاد باریکه یکنواخت نوترون حرارتی و سیستم رادیوگرافی بانوترون

این تجهیزات مطابق شکل ۳ شامل بیسموت، گرافیت، قسمت اصلی لوله کلیماتور، قسمت سربی لوله کلیماتور، دریچه مسدود کننده پرتو نوترون، اطاقک بتونی رادیوگرافی، کاست، مبدل و فیلم می باشد که در زیر تهیه و ساخت هر قسمت جداگانه توضیح داده شده است.



شکل ۲ - ابعاد Beam Tube سراسری و قطعات داخلی آن که مسطور رادیوگرافی بانوترون انتخاب گردید.

طراحی و ساخت سیستم رادیوگرافی بانوترون در راکتور مرکز تحقیقات هسته‌ای



شکل ۳ - تجهیزات سیستم رادیوگرافی بانوترون که در Beam Tube سراسری قرار گرفت.

۱-۲- تهیه قطعه‌ای از بیسموت بمنظور جذب اشعه گاما

بعلت تأثیری که اشعه گاما بر روی فیلمهای مخصوص رادیوگرافی دارد، لازم است که شدت این اشعه در مسیر باریکه نوترون به کمترین مقدار ممکنه تقلیل یابد. بدین منظوری یک قطعه بیسموت استوانه‌ای شکل بطول 10 cm و قطر 15 cm ساخته شد که در قسمت میانی کانال باریکه سراسری در مجاورت هسته مرکزی قلب راکتور قرار گرفت این عنصر با داشتن ضریب جذب ماکروسکپیک نوترونی نسبتاً کم در مقایسه با سرب اشعه گاما را بنحویثی کاهش می‌دهد (۵) در مواردی که آشکارسازهای غیر حساس به گاما استفاده می‌شوند می‌توان بیسموت را خارج نمود تا شدت نوترون افزایش یابد.

۲-۲- تهیه قطعه گرافیت بمنظور حرارتی کردن نوترونهای فوق حرارتی و سریع

فلوی نوترون حرارتی و فوق حرارتی در مرکز کانال باریکه سراسری بروش اکتیو کردن سیم مسی با پوشش وبدون پوشش کادمیم در قدرت 2 MW اندازه گیری شد و شارهای حرارتی و فوق حرارتی بترتیب $\Phi_{th} = 8.4 \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ و $\Phi_{epi} = 3.07 \times 10^9 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ بدست آمدند. بعلت بالا بودن مقدار نوترونهای فوق حرارتی و جذب بیشتر نوترون حرارتی در مدلهای نوترونی لازم است نوترونهای فوق حرارتی به حرارتی تبدیل گردند. برای این منظور با استفاده از یک قطعه گرافیت بطول 40 cm و قطر 15 cm نسبت زیادی از نوترونهای

ز. طباطبائیان و همکاران

فوق حرارتی به حرارتی تبدیل گردید و اندازه گیری در محل رادیوگرافی و در قدرت 1 MW نشان داد که تنها ۲٪ نوترون ها فوق حرارتی و ۹۸٪ بقیه دارای انرژی حرارتی می باشند. بعلت شکنندگی گرافیت این قطعه در پوششی از آلومینیوم که مشخصات آن در قسمت ۲-۳ ذکر شده است، قرار گرفت. قطعه گرافیت بعد از بیسموت و قبل از لوله کلیما تور اصلی در کانال باریکه قرار داده شد.

۲-۳- لوله اصلی کلیما تور

برای تهیه لوله کلیما تور از میل آهنی (St-60) بطول ۱۱۰ سانتی متر و به اجزاء متشکله آهن ۹۸/۲۲۵٪، سیلیسیم ۰/۱۷٪، منگنز ۰/۵٪، فسفر ۰/۰۵٪ و گوگرد ۰/۰۵۵٪ استفاده شد.

برای تهیه باریکه یکسوی نوترون لازم بود که این میل به شکل مخروط ناقص بقطر دهانه ورودی $1/8\text{ cm}$ و دهانه خروجی 10 cm تراشیده شود زاویه مخروط زن برای تراش این لوله $2/06^\circ$ می باشد. برای جلوگیری از ورود نوترون های پراکنده در مسیر باریکه همسوی نوترون ها لازم بود که دیواره داخلی و خارجی کلیما تور توسط جاذب های نوترونی مثل کادمیم یا بورال پوشانده شود. با توجه به مشکلات مربوط به لایه گذاری و تجربیات گذشته (۶) این پوشش از نوع کادمیوم انتخاب گردید که بعد از بررسی روش های مختلف لایه گذاری (Electrolyse, Flame Spray, Plasma Spray) روش الکترولیز انتخاب ولایه ای به ضخامت $0/3\text{ cm}$ از کادمیوم در سطوح خارجی و داخلی لوله پوشش داده شد. برای جلوگیری از خراش در لایه کادمیوم سطح خارجی لوله به هنگام جایگزاری در داخل کانال باریکه توسط آلومینیوم با ۹۵ درجه خلوص و با ناخالصی های ۰/۰۱۲٪ مس و ۰/۰۱٪ کرم و ۰/۵۲٪ آهن و ۰/۱۱٪ روی پوشش داده شد.

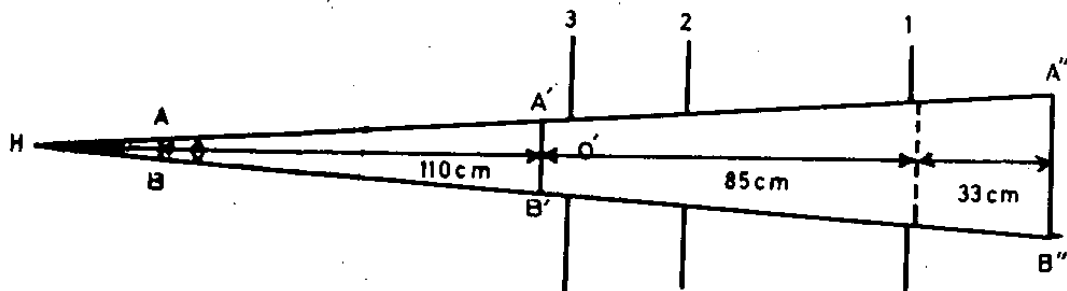
۲-۴- ساخت قسمت سربی کلیما تور

این قطعه در قسمت خروجی کلیما تور قرار گرفته و از نفوذ اشعه گاما و نوترون های پراکنده در مسیر پرتو نوترون همسوسده توسط کلیما تور اصلی جلوگیری بعمل می آورد. برای این موضوع از چندین قطعه مختلف سرب که با ابعاد مناسب کانال باریکه ساخته شده اند استفاده شده است برای جلوگیری از نفوذ نوترون های پراکنده در این لوله قطعات فوق نیز بطریقه مشابه لوله اصلی کلیما تور از لایه ای به ضخامت $0/3\text{ cm}$ کادمیوم پوشانیده شد. برای اطمینان بیشتر از جذب هرگونه نوترون پراکنده در مسیر پرتو حلقه هایی از جنس بورال به ضخامت $0/358\text{ cm}$ مابین قطعات سربی قرار داده شد. روش محاسبه ابعاد حلقه های بورال و محل آنها مطابق شکل ۴ از رابطه ۱ محاسبه شده است:

$$x = 10 + \frac{10h}{137/5} \quad (1)$$

در این رابطه h فاصله هر حلقه از کلیما تور اصلی و x قطر داخلی هر حلقه می باشد

طراحی و ساخت سیستم رادیوگرافی با نوترون در راکتور مرکز تحقیقات هسته‌ای



$AE = 2\text{ cm}$

ورودی کلیما تور

$A'B' = x = 10\text{ cm}$

خروجی کلیما تور

$A''B'' = x$

دیواره راکتور

شکل ۴ - چگونگی تشکیل قطر پرتو در محل حلقه‌های بورال.

مشخصات حلقه دوم

قطر خارجی حلقه $D = 25\text{ cm}$
 قطر داخلی حلقه $X = 11/8\text{ cm}$
 این حلقه در فاصله $27/5$ سانتیمتری
 از کلیما تور اصلی قرار دارد.

مشخصات حلقه اول

قطر خارجی حلقه $D = 25\text{ cm}$
 قطر داخلی حلقه $X = 10/27\text{ cm}$
 این حلقه در فاصله 4 سانتیمتری از
 کلیما تور اصلی قرار دارد.

مشخصات حلقه سوم

قطر خارجی حلقه $D = 25\text{ cm}$
 قطر داخلی حلقه $X = 15/7\text{ cm}$
 این حلقه در فاصله $79/2$ سانتیمتری
 از کلیما تور اصلی قرار دارد.

نظریات اینکه تخلیه هوای داخل (کانال باریکه) سبب افزایش فلوی نوترون می‌گردد و از طرفی در کانال باریکه سراسری لوله‌هایی جهت تخلیه هوا و آب وجود دارد قطعه سربی که در مقابل این لوله‌ها قرار گرفته، سوراخهایی در آن تعبیه شده است که در موارد ضروری می‌توان کانال باریکه را از هوا تخلیه (برای فلوی بیشتر نوترون) و یا آب پرکرد (برای متوقف کردن نوترون‌ها).

۲-۵- دریچه مسدود کننده پرتو نوترون

برای رادیوگرافی از جسم مورد نظر و کنترل زمان تابش پرتو از دریچه‌ای از جنس بورال و

ز. طباطبائیان و همکاران

سرب استفاده شد. از آنجا که باید در نظر گرفتن طول لوله کلیما تورفلوی نوترون حرارتی در حداکثر قدرت (5 MW) در محل درجه مسدود کننده بیش از $10^6 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{Sec}$ نمی باشد، بنابراین دولا به از بورال به ضخامت ۴ و ۲۴ سانتیمتر سرب جهت متوقف کردن نوترون حرارتی و گامای موجود در پرتو برای رادیوگرافی کافی خواهد بود. این درجه در مقابل دیواره راکتور به ابعاد $24 \times 25 \times 25 \text{ cm}$ بر روی پایه محکمی قرار گرفته و حرکت آن بر روی ریل صورت می گیرد. حرکت این درجه می تواند یکم یک سیستم الکترونیکی نیز انجام پذیرد. در چنین شرایطی می توان بطور خودکار در زمان مورد نیاز پرتو نوترون را باز و بسته نموده و رادیوگراف تهیه کرد.

۲-۶- اطاقک بتونی رادیوگرافی نوترون

این اطاقک از بتون به ضخامت دیوارهای کناری ۴۵ cm و دیواره مقابل پرتو نوترون ۶۰ cm برای حفاظ لازم در زمان رادیوگرافی ساخته شده است. در دیواره و سقف این اطاقک محلی برای قرار دادن کاست و جسم تعبیه گردیده است. در دیواره مقابل پرتو نوترون اطاقک یک صفحه سوراخ جهت جذب نوترون در زمان باز بودن درجه قرار داده شده. سقف و دیوارهای این اطاقک قابل انتقال می باشد. این اطاقک بصورت پیش ساخته تهیه و در راکتور نصب گردیده است.

۲-۷- مبدل نوترونی و فیلم برای رادیوگرافی

بمنظور تبدیل نوترون به اشعه موثر و محرک فیلم معمولاً "از مبدل‌های مناسب استفاده می شود. جداول ۱ و ۲ این مبدل‌ها و مشخصات آنها را دست‌بندی نموده اند. از میان مبدل‌های موجود مبدل گادولینیم بعلت بالا بودن قدرت تفکیک آن ($30 \mu\text{m}$) — برای ضخامت $(12/5 \mu\text{m})$ (۴) و مبدل NE ۴۲۶ بعلت بالا بودن راندمان نوری (Scintillation efficiency) (30 eV/Photon) (۸، ۷) و استفاده از آن در شارهای نوترونی پائین $10^4 \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{Sec}^{-1}$ و مبدل BN1 بعلت قابل استفاده بودن برای نوترونیهای حرارتی و فوق حرارتی و در شارهای نوترونی پائین در حدود $10^4 \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{Sec}^{-1}$ (۹) تهیه شده است.

بعلت عدم امکان تهیه فیلم‌های مندرج در جدول ۲ از فیلم‌های زیر برای هر یک از مبدل‌های فوق الذکر استفاده شده است:

۱- فیلم‌های (3M CRT7) و (Fuujiminc) جهت مبدل گادولینیم این فیلم‌ها دارای دانه‌های ریز (Grain)، و در نتیجه قدرت جداکنندگی مناسب برای مبدل فوق می باشد.

۲- فیلم (ILFORD Industrial Type B) مناسب برای مبدل NE ۴۲۶ بوده زیرا که این مبدل مولد فوتون است.

۳- فیلم Kodak CN 85 که شامل $100 \mu\text{m}$ ضخامت از نیترات سلولز بوده و یک شیت

طراحی و ساخت سیستم رادیوگرافی بانوترون در راکتور مرکز تحقیقات هسته‌ای
کننده (Track etch) می باشد.

۸-۲- کاست

بعلت خاصیت پخش کنندگی نوترون توسط هیدروژن لازمست که کاستهای ساخته شده برای رادیوگرافی بانوترون عاری از هرگونه مواد هیدروژن دار باشد. بدین منظوره عدد کاست از جنس آلومینیوم‌های آزمایش شده برای پوشش کلیما تور و با ابعاد مبدل‌های مصرفی ساخته شد. مقدار هیدروژن آلومینیوم‌های موجود با دستگاه هیدروژن آنالیزور با روش Wheastone Bridge اندازه‌گیری و مقدار آن ۹۵/۶ PPM تعیین گردید.

ترکیبات مربوطه سوع مدل	سوع انرژی برتو	بمدعمر ناش برسو $T_{1/2}$	فعل و افعال هتهای اوله	ضرب حد نوترون حرارتی Σ_a	عصر
${}^6\text{LiF} + \text{ZnS}, 250 \mu\text{m}$	$\alpha, 2.05; T, 2.74 \text{ MeV}$	0	(n, α)	0.90 mm^{-1} (NE 426)	6Li 3
${}^{10}\text{B}_4\text{C}, 5 \mu\text{m}$	$\alpha, 1.47; \text{Li}, 0.84 \text{ MeV}$	0	(n, α)	44.8 mm^{-1} (B_4C)	10B 5
Metal foil, 25 μm	* ${}^{13}\text{C}\beta, 71 \text{ KeV (main)}$	0	(n, γ)	140.3 mm^{-1}	Nat 66 Gd
Metal foil, 100 μm	$\beta, 1.28 \text{ MeV (max)}$	2.3 h	(n, γ)	3.01 mm^{-1}	Nat 66 DY
Metal foil, 250 μm	$\beta, 1.00 \text{ MeV (max)}$	54 min	(n, γ)	0.73 mm^{-1}	Nat 49 In

*Internal Conversion

جدول ۱ - خواص هسته‌ای برخی از مبدل‌های نوتروسی (۳)

یافته‌ها و بررسی آنها

در این قسمت مشخصات پرتونوترون ایجاد شده از نظر ابعاد، درصد نوترون‌های حرارتی و یکنواختی آن، تعیین نسبت I_r/D و شدت گاما‌های موجود در پرتو مورد بررسی قرار می‌گیرد:

الف - ابعاد پرتو: اندازه پرتو در نواحی مختلف محاسبه شده و بشرح جدول زیر می‌باشند:

۱- قطر پرتو در محل دیواره راکتور بدون محاسبه نیمسایه حاصل از $18/58 \text{ cm}$

دهانه ورودی کلیما تور

زبطاطبائیان وهمکاران

جدول ۲ - بعضی از مشخصات تبدلهای نوترونی* (۳).

نسبت پرتو n/γ $n.cm^{-2}.mR^{-1}$	نلمهای مناسب	عدم نیزی ذاتی (Inherent Un- sharpness) μm	بازده نیب نوترون حرارتی %	صحاب مدل	سوع مدل
5×10^4	X-ray (tungstate Screen)	1000	30	0.65	NE 421 (granular)
5×10^4	X-ray (tungstate Screen)	400	20	0.25	NE 426 (granular)
2×10^5	X-ray (tungstate Screen)	400	80	1.0	NE 905 (glass)
10^6	X-ray (lead Screen)	<100	25	0.025	Gadolinium foil
0	X-ray (lead Screen)	200	10	0.10	Dysprosium foil

* تمام داده‌ها مربوط به تبدل‌هایی است که بعد از فیلم قرار می‌گیرند .
** عدم نیزی دانی با استفاده از (Klasens Method) انجام شده است .

۲- قطر پرتو در محل دیواره‌ها طاقک رادیوگرافی بدون محاسبه $31/67$ cm
نیمسایه حاصل از دهانه ورودی کلیما تور

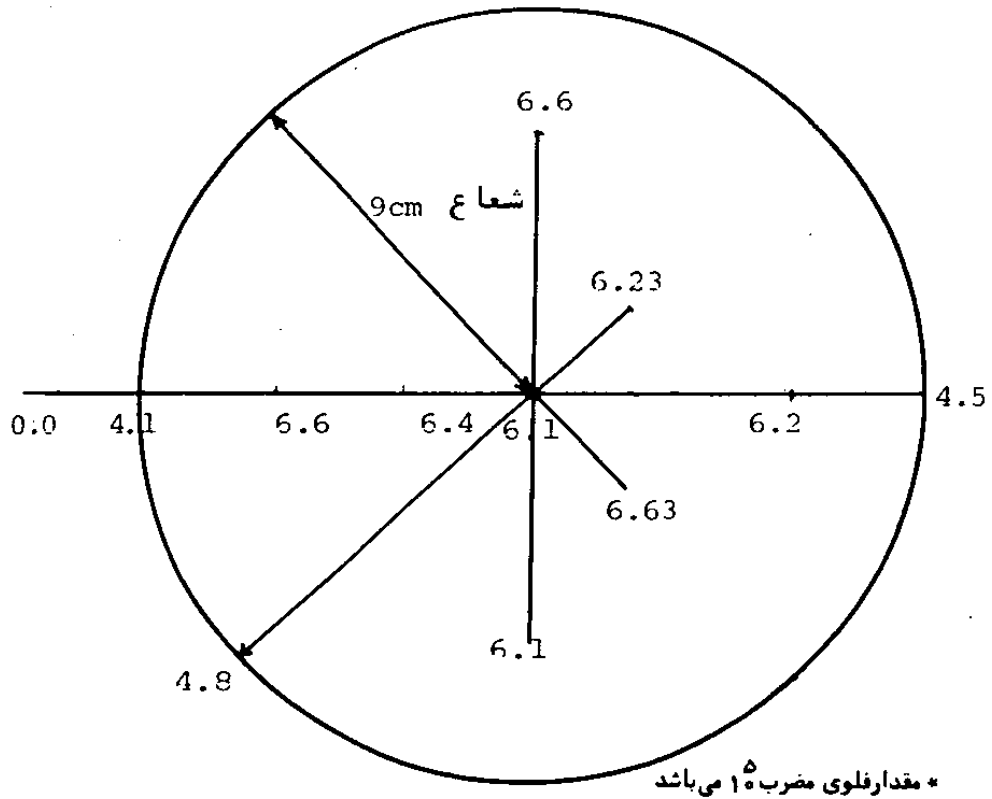
۳- قطر پرتو در محل دیواره راکتور با احتساب نیمسایه حاصل از
دهانه ورودی کلیما تور و آخرین صفحه بورال جذب کننده که
در فاصله $178/5$ cm از انتهای کلیما تور اصلی قرار دارد .

۴- قطر پرتو با احتساب نیمسایه در محل دیواره‌ها طاقک رادیوگرافی $36/27$ cm

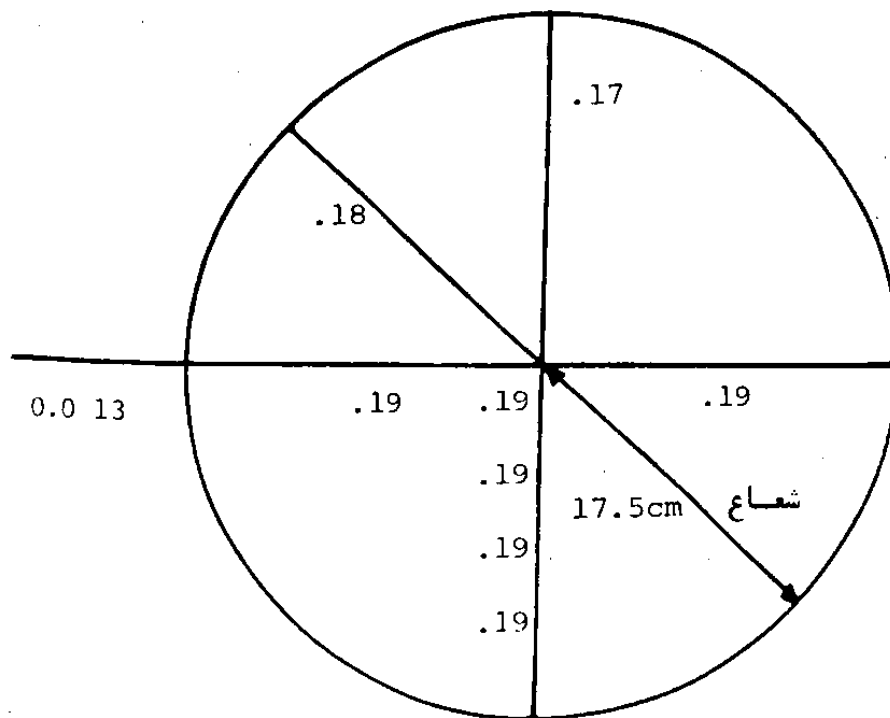
ب- درصد نوترونیهای حرارتی : نوترونیهای حرارتی درباریکه توسط اکتیو کردن پولکهای
(Mn - Cu) با وبدون پوشش کادمیوم در قدرت یک مگاوات راکتور اندازه‌گیری شد و
مشخص شد که ۹۸ درصد آن را، نوترونیهای حرارتی تشکیل می‌دهند .

ج- فلوی نوترون حرارتی و یکنواختی آن : فلوی نوترون حرارتی در محل دیواره راکتور
بروش اکتیو کردن پولکهای (Mn - Cu) اندازه‌گیری شد . شکل‌های ۵ و ۶ فلوی
نوترون حرارتی را در نقاط مختلف صفحه تصویر در محل دیواره راکتور و در اطاقک
رادیوگرافی (در فاصله 180 cm از دیواره راکتور) نشان می‌دهند . نتایج حاصل
حدود ۱۰% تغییرات فلوی در قطر 31 سانتیمتری صفحه تصویر و ۸% در قطر 18 سانتیمتر
صفحه تصویر می‌باشد . برای بررسی یکنواختی فلوی، رادیوگراف پرتو نوترون در محل
دیواره راکتور بوسیله مدل GD در زمان یک ساعت تابش نوترون تهیه گردید . یکنواختی

طراحی و ساخت سیستم رادیوگرافی با نوترون در راکتور مرکز تحقیقات هسته‌ای



شکل ۵ - فلوی نوترون حرارتی در نقاط مختلف صفحه تصویربرداری دیواره راکتور.



شکل ۶ - فلوی نوترون حرارتی در نقاط مختلف صفحه تصویربرداری دیواره اتاقک رادیوگرافی.

ز. طباطبائیان و همکاران

دانشیته نوترون در صفحه تصویر در شکل ۷ ارائه شده است. تغییرات شدت نوترون در این محل از طریق شمارش نقاط مختلف صفحه رادیوگراف بوسیله دانسیتیومتر اندازه گیری و بالاترین مقدار دانسیته خوانده شده بعنوان مبداء و عدد ۱۰۰ انتخاب گردید و بقیه نسبت به آن نرمالیزه گردیدند. شکل ۸ تغییرات شدت پرتو را که کمتر از ۸% در صفحه تصویر می باشد، نشان می دهد.

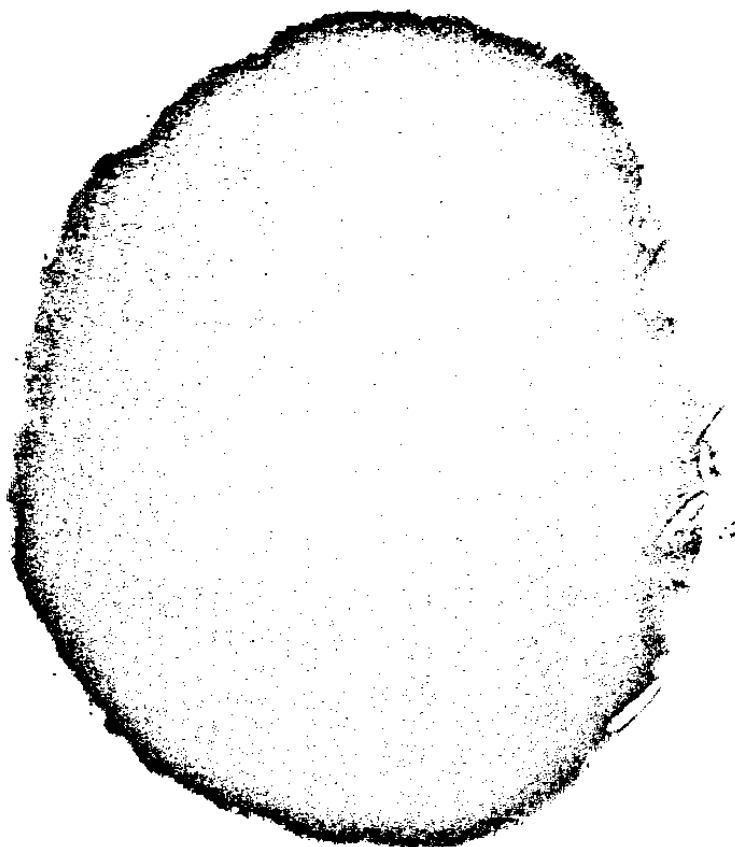
د. تعیین نسبت L/D: این نسبت بیانگر قدرت جداکنندگی در رادیوگرافی بوده و هرچه مقدارش بیشتر باشد مقدار سایه در تصویر کمتر بوده و تصویر واضح تر خواهد بود. در این رابطه L نمایانگر فاصله محل تصویر از دهانه ورودی کلیما تور و D قطر ورودی لوله کلیما تور است. این نسبت در محل دیواره اطاقک رادیوگرافی ۲۰۴ و در محل دیواره راکتور ۱۱۴ تعیین گردید.

ه. شدت گامای موجود در پرتو نوترون: گامای موجود در پرتو نوترون ایجاد شده اندازه گیری و مقدار آن ۱ rem/hr بود که برای شدت نوترون 5×10^5 n/cm².s ، $1/54 \times 10^5$ ، نسبت شدت نوترون به شدت گاما برابر $\frac{n}{cm^2 \cdot hr}$ 5×10^5 می گردد و نشان می دهد که برای هر میلی رونتگن اشعه گاما ، 5×10^5 نوترون وجود دارد که قابل مقایسه با پارامترهای مربوطه در دیگر تسهیلات نوترون رادیوگرافی در جهان می باشد (۲).

مقایسه و نتیجه گیری

جدول ۲ - مقایسه نوترونیوم مرکز حفقات انرژی ابرو ای ایران و هارول انگلستان

شماره نوترون	شماره نوترون n/cm ² .Sec	قطر رادیوگراف mm	نسبت گامایوم	نسبت شدت نوترون شدت گاما n/cm ² .mr	نسبت L/D	تعداد نوترون در صفحه تصویربرداری	قدرت راکتور MW
مرکز حفقات تهران (در محل رادیوگرافی شماره ۱ نوترون حرارتی)	$1/5 \times 10^5$	۱۸۰	۵۰	$0/5 \times 10^5$	۱۱۴	۶۸	۱
مرکز حفقات تهران (در محل رادیوگرافی شماره ۲ نوترون حرارتی)	$1/8 \times 10^4$	۲۱۰	۵۰	$2/2 \times 10^5$	۲۰۴	۶۱۰	۱
مرکز حفقات هارول (محل رادیوگرافی نوترون حرارتی)	$1/6 \times 10^7$	۱۸۶	۵۷	$2/9 \times 10^6$	۱۵۵	۶۴۳	۲۵
مرکز حفقات هارول (محل رادیوگرافی نوترون سرد)	2×10^5	۲۰۰	این برابری از فیلمهای برایم عبور کسرده و نوترون بود حرارتی آن ناچهارم	$0/16 \times 10^5$	۲۵۴	۶۲۰	۲۵



شکل ۷- رادیوگراف مربوط به تغییرات شدت پرتو در صفحه تصویر.

ز. طباطبائیان و همکاران

رابا مشخصات دوپرتونوترون حرارتی و سرد مرکز تحقیقات هارول انگلستان مقایسه می‌کند. .
 بادر نظر گرفتن اعداد بدست آمده در قدرت یک مگاوات راکتور ایران و نتایج حاصل از قدرت
 ۲۵ MW راکتور هارول ، وضعیت پرتونوترون مرکز تحقیقات از نظر ابعاد ، درصد گامای موجود
 حرارتی بودن اکثریت نوترونها ، قدرت جداکنندگی پرتو و همسو بودن نوترونها مناسب
 بوده ، لکن بعلمت پائین بودن قدرت راکتور شار نوترون کم و بنا بر این برای تهیه رادیوگراف
 مناسب زمان تابش بیشتر و یا مبدل‌های باران دمان بالا که معمولاً " جداکنندگی کمتری دارند ،
 استفاده می‌شود .

بطور خلاصه سیستم رادیوگرافی بانوترون برای اولین بار در ایران بنا گردیده است . شکل
 ۹ رادیوگراف تهیه شده بوسیله این سیستم را با استفاده از مبدل ^{99}Tc نشان می‌دهد . این
 شکل نشان دهنده کیفیت خوب قدرت جداکنندگی پرتو و یکنواختی پخش نوترون در صفحه
 تصویر می‌باشد .

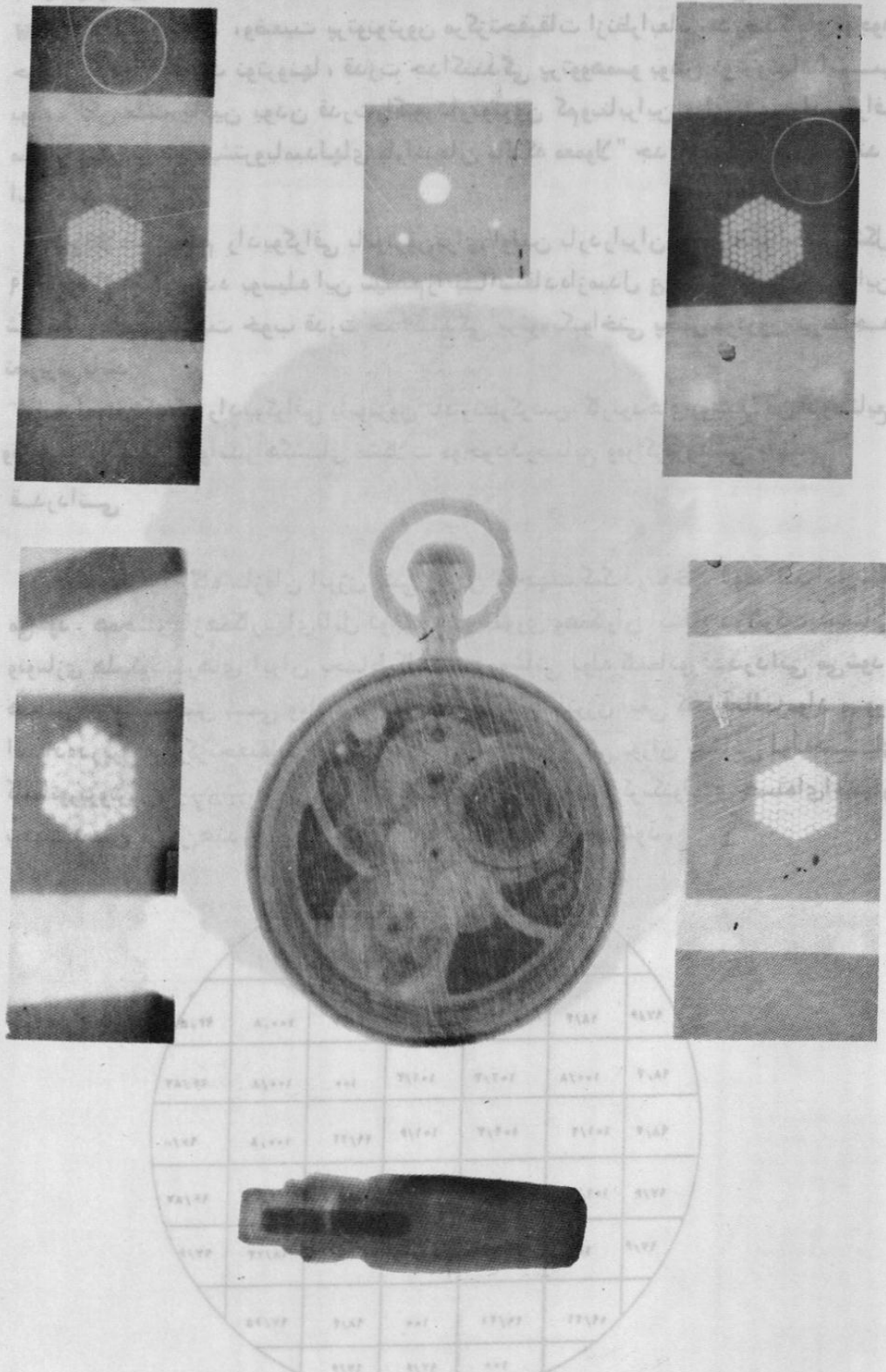
امید است تکنیک رادیوگرافی بانوترون بادر نظر گرفتن کاربردهای وسیع آن در صنایع
 و پژوهشهای علمی بتواند راهگشای مشکلات موجود در صنایع و مراکز پژوهشی باشد .
 قدردانی

بدینوسیله از کارگاه سازمان انرژی اتمی ایران به جهت کمک در ساخت لوله کلیما تور شکر
 می‌شود . همچنین از همکاریهای قابل توجه آقای بلوری و همکاران ایشان در شرکت پشتیبانی
 و نوسازی هلیکوپترهای ایران بخاطر کاد میوم پوشانی لوله کلیما تور قدردانی می‌شود .
 همچنین از افراد بخش شیمی و واندوگراف مرکز تحقیقات انرژی اتمی که در آنالیز مواد مورد
 استفاده در پروژه و مرکز تحقیقات و کاربرد خواص مواد که در بررسی بوران پوشانی لوله‌های
 کلیما تور بر روش Metal Spraying و همچنین آزمایشگاه مواد مرکز تکنولوژی هسته‌ای اصفهان
 بجهت تعیین میزان هیدروژن موجود در آلومینیوم قدردانی می‌شود .

		۹۷/۵	۹۶/۹	۹۵/۳۱		
	۹۸/۲	۱۰۰/۲	۹۹/۲	۹۹/۲۲	۹۷/۶	
۹۷/۶	۹۸/۲	۱۰۲/۳	۱۰۰	۱۰۱/۶	۱۰۰/۸	۹۷/۵
۹۸/۲	۱۰۰/۸	۱۰۲/۳	۱۰۲/۳	۱۰۰	۱۰۰/۸	۹۶/۸۷
۹۸/۲	۱۰۱/۲	۱۰۲/۳	۱۰۱/۶	۹۹/۲۲	۱۰۰/۸	۹۶/۱۰
۹۷/۶	۱۰۱/۹	۱۰۰	۱۰۰/۸	۱۰۰	۱۰۰	۹۶/۸۷
۹۷/۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰/۸	۱۰۰	۹۸/۲۳	۹۷/۶
	۹۹/۲۱	۹۹/۲۱	۱۰۰	۹۸/۲	۹۷/۶۵	
		۱۰۰	۹۷/۶	۹۷/۶		

شکل ۸- تعمیرات نند بر روی رادیوگراف (صفحه تصویر) اندازه گیری شده بوسیله دانسنیومتر .

طراحی و ساخت سیستم رادیوگرافی با نوترون در راکتور مرکز تحقیقات هسته‌ای



رادیوگراف تهیه شده از صفحات سوراخدار کادمیم، کرومومتر و قلم مخصوص نقشه‌کشی که میزان جوهر موجود در آن نیز مشخص شده است. این رادیوگراف با ۳ ساعت پرتوتابی (exposure) با استفاده از مبدل گادولینیم تهیه شده است.

REFERENCES

1. M. Hawkesworth Ed. Proc. Conf. of "Radiography with Neutrons" Univ. of Birmingham PP. 165-167, (1973).
2. H. Berger "Practical Applications of Neutron Radiography and gaging" ASTM pub (1975).
3. M. Hawkesworth "Neutron Radiography Equipment and Methods" Atomic Energy review, Vol. 15, No.2, (1977).
4. P. Vonder Hardt and H. Rottger "Neutron Radiography Handbook" Raidel Ed, PP.45-65 (1981).
5. H. Etherington BD. Nuclear Engineering Handbook McGraw-Hill, Ch.7, PP. 61-112 (1958).
6. Z. Tabatabaian "Evaluation of Neutron Radiography facility" MSc thesis Surrey Univ. U.K. (1977).
7. A.R. Spowart. "Measurment of the absolute Scintillation efficiency of granular and glass neutron scintillator," Nucl. Inst. Meth 75, PP. 35-42, (1969).
8. A.R. Spowart. "Measurment of the gamma sensitivity of granular and glass neutron Scintillators and films. Nucl. Inst. Meth 82, PP. 1-6, (1970).
9. J. Morley, "Two new methods to increase the contrast of track etch neutron radiographs" NASA, Tech. Memo. TMX-67447, (1970).
10. D.G.C. Harris, B.C.G. Haywood " The Dido 6H cold Neutron Radiography Apparatus", Harwell report, M.P.D/NDS/84, (1978).

DESIGN PARAMETERS OF THE NEUTRON RADIOGRAPHY FACILITY
IN THE TEHRAN NUCLEAR RESEARCH CENTER

Z. Tabatabaian , K. Kamali Moghadam , N. Mirhabibi

*Nuclear Research Center, Atomic Energy Organization of
Iran, P.O.Box 11365-8486, Tehran, Iran*

Abstract- Neutron radiography has been used in nuclear fields and for various other industrial and medical applications in a number of countries over the past two to three decades. Design parameters of a neutron radiography system which has been developed at Tehran Nuclear Research Center is presented. Various neutron beam tubes of the reactor were examined and the through tube has been selected due to a lower level of gamma count, higher flux level, and beam dimension etc. The designed neutron collimator tube consists of two parts of Iron and lead. 3 mm thickness of cadmium has been electro-deposited on the inside of the collimator tube. A piece of bismuth with a thickness of 10 cm was placed at the core end of the tube to reduce gamma count rate. Thermalization of epithermal neutrons was accomplished with a block of graphite which was inserted after the bismuth. Scattered neutrons and shadow resulting from entrance diameter of collimator were eliminated by suitable placement of boral rings. The neutron beam has been tested for directionality and homogeneity of the neutron flux distribution as well as gamma flux and epithermal neutron component of

the flux. L/D ratios of 114 and 204 were recorded at the reactor wall and the wall of radiography chamber at a reactor power level of 1 MW respectively. The physical parameters of the designed system including flux level and its variations in a radiographic plate, neutron to gamma ratio, cadmium ratio, and the L/D ratio have been measured and compared with the results of a similar system from Harwell laboratory.