



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

امکان سنجی ساخت سیستم مانیتورینگ غلاف سوخت در مسیر خروجی هوای Hold-Up Tank راکتور تحقیقاتی تهران

عظیم احمدی نیار*^۱، زهرا اکبری^۱، حسین قدس^۱، ارسلان عزتی^۲

۱- سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشگاه فیزیک و شتابگر

۲- سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشگاه راکتور

چکیده:

در این تحقیق یک سیستم مونیتورینگ جهت کنترل نشتی محصولات شکافت از غلاف سوخت راکتور تحقیقاتی تهران طراحی شده است. با استفاده از یک سیستم اسپکتروسکوپی گاما در محل هوای خروجی HUT (Hold Up Tank) طیف گامای هوای خروجی از تانک جمع آوری می شود. سپس در پنجره انرژی تعیین شده شمارش گامای حاصل از محصولات شکافت انجام می شود. مواقعی که شمارش این پنجره بیش از حد تعیین شده زمینه باشد، نشان از رخداد سانحه در غلاف سوخت دارد و می تواند نوعی هشدار برای کنترل و یا خاموش کردن راکتور باشد.
کلید واژه: کنترل نشتی، محصولات شکافت، مانیتور غلاف سوخت

مقدمه:

در تمام راکتورهای تحقیقاتی دنیا همواره برای کنترل سلامت غلاف سوخت در کارکرد عادی راکتور انواعی از سیستم های مونیتورینگ نصب می شوند تا در مواقع بروز سانحه اپراتورها مطلع شوند [۱]. از جمله رایج ترین این سیستم ها کنترل آب خنک کننده مدار اول راکتور می باشد. جهت این منظور در بازه های زمانی معین نمونه آب خنک کننده جمع آوری شده و توسط سیستم های شمارشگر طیف گامای مربوطه طیف سنجی و آنالیز می شود. در صورت مشاهده پاره های شکافت به اپراتورها اطلاع داده می شود. همانطور که پیداست این تکنیک برخط (Online) نبوده و زمان بر است. روش دیگر نصب سیستم شمارشگر در نقطه ای مناسب از مسیر انتقال آب خنک کننده می باشد. یک نمونه از چنین سیستمی در سالهای گذشته در محل لوپ اول آب خنک کننده راکتور تحقیقاتی تهران طراحی و نصب شده است. سوخت راکتور تهران تا سال ۱۳۷۲ از آلیاژ اورانیوم با غنای ۹۰ درصد بوده (HEU) و از این سال به بعد از سوخت اورانیوم با غنای ۲۰ درصد (LEU) استفاده شده است. احتمالاً به دلیل افزایش میزان سوخت (با توجه به کاهش غنا) و به طبع آن افزایش غلاف آلومینیومی (به خاطر افزایش تعداد صفحات سوخت) میزان آلودگی آب راکتور به ایزوتوپهای حاصل از آلومینیوم که از طریق فعالسازی نوترونی



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

NA (Neutron Activation) آلومینیوم موجود در غلاف سوخت می شود، افزایش پیدا کرده است. در کار تحقیقاتی که قبلا در خصوص مونیتورینگ پاره های شکافت انجام شده است با استفاده از شمارنده سنتیلاتور نوع و مقدار پاره های شکافت محول در آب خنک کننده آشکارسازی شده است [۲]. با توجه به اندازه گیری، محاسبات و تجربیات به دست آمده، این سیستم کارایی زیادی ندارد. چون همانطور که اشاره شده میزان برخی رادیوایزوتوپهای تولید شده در آب که به واسطه برهمکنش فعالسازی نوترونی ایجاد می شود (به خصوص در قدرت های بالاتر) زیاد است. این رادیوایزوتوپها عبارتند از ^{24}Na ، ^{27}Mg ، ^{28}Al . منشأ اصلی تولید هر سه رادیوایزوتوپ آلومینیوم موجود در غلاف سوخت می باشد که طی برهمکنشهای ($^{27}\text{Al}(n,\gamma)^{28}\text{Al}$ ، $^{27}\text{Al}(n,p)^{24}\text{Mg}$ ، $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$) تولید می شوند.

علاوه بر ایزوتوپهای فوق ^{56}Mn به واسطه برهمکنش $^{56}\text{Mn}(n,p)^{56}\text{Fe}$ و ^{41}Ar با برهمکنش $^{41}\text{Ar}(n,\gamma)^{40}\text{Ar}$ در آب مدار اولیه مشاهده می شوند، که رادیو ایزوتوپ اول از مواد استیل که در ساخت تجهیزات قلب بکار رفته است و دومی از هوای محلول در آب تولید می شوند. علاوه بر رادیو ایزوتوپهایی که به واسطه فعالسازی نوترونی در آب مدار اولیه مشاهده می شوند، رادیو ایزوتوپهای حاصل از محصولات شکافت نیز در آب مدار اولیه آشکارسازی می شوند. این نوع رادیو ایزوتوپها یا به صورت گاز بی اثر تولید می شوند (مانند Kr ، Xe و I)، و یا در فرایند واپاشی به رادیو ایزوتوپ گازی شکل تبدیل می شوند. این رادیو ایزوتوپها به صورت خیلی جزئی از پوشش آلومینیومی سوخت (Clad) خارج شده و همواره به مقدار خیلی کم در آب مدار اولیه مشاهده می شوند (جدول ۱).

روش انجام کار

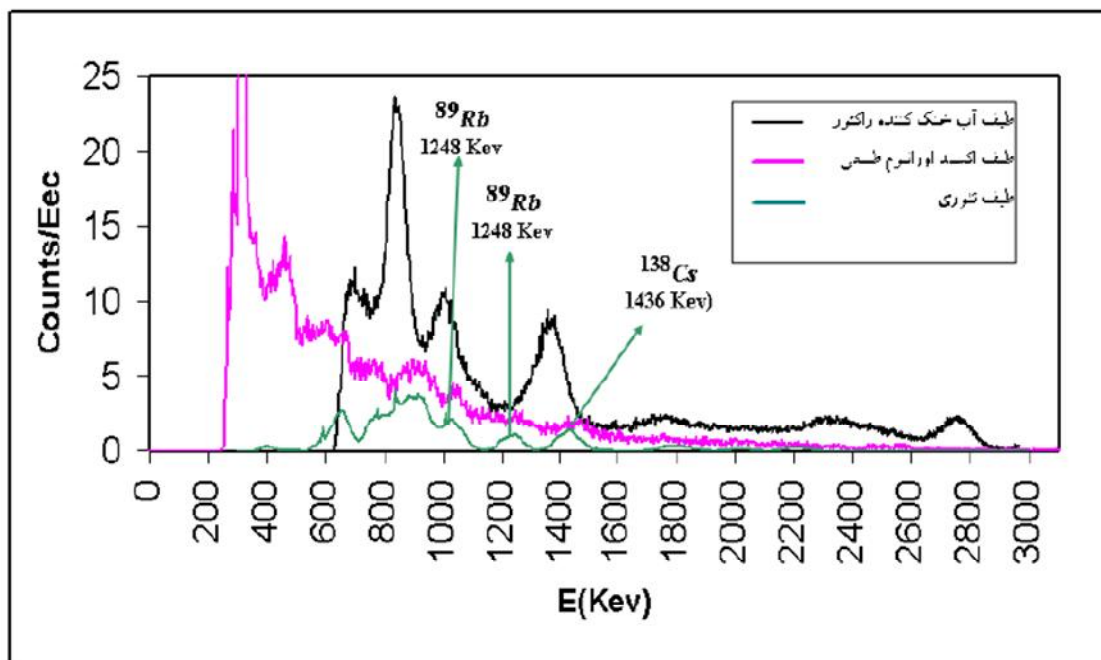
کنترل میزان نشتی محصولات شکافت، با طیف سنجی در مسیر عبور آب مدار اولیه، به علت وجود رادیو ایزوتوپهای حاصل از فعالسازی نوترونی (^{28}Al ، ^{24}Na و ^{27}Mg) به سختی انجام می گیرد. در شکل ۱ سه طیف ترکیبی از نمونه آب راکتور همراه با طیف حاصل از پرتودهی یک میلی گرم اورانیوم در فلاکس نوترون 10^{12} $\text{n/cm}^2\text{s}$ به مدت ۲ ثانیه و طیف تئوریک برای حادثه نشتی و ورود یک میلی گرم از سوخت در ۵۰۰ متر مکعب آب مدار اولیه راکتور ارائه شده است. طیف سنجی از نمونه آب و نمونه اورانیوم پرتودهی شده حدود ۲۰ دقیقه بعد از پرتودهی جمع آوری شده و در محاسبات نیز فرض شده که ۲۰ دقیقه از حادثه نشت سپری شده باشد. این زمان به این جهت انتخاب شده که اکتیویته ^{28}Al و ^{16}N واپاشی کرده و طیف گیری از آب مدار اولیه، با کاهش اکتیویته آب امکانپذیر می شود. با این حال هنوز وجود ^{27}Mg و ^{24}Na با انرژی های ارائه شده در جدول ۱ امکان



بست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

تشخیص محصولات شکافت مانند ^{134}I ، ^{138}Cs و ^{88}Rb را غیر ممکن و یا لاقابل بسیار مشکل می کند. بویژه تشخیص نشت های بسیار ناچیز در آب مدار اولیه غیر ممکن می شود.



شکل ۱ - نمونه ای از طیف گامای آب راکتور و مقایسه آن با طیف یک میلی گرم اورانیوم پرتودهی شده در راکتور و طیف حاصل از محاسبات تئوریک (مرجع ۲)

مناسبترین محصولات شکافت برای کنترل نشتی با توجه به نیمه عمر آنها عبارتند از: ^{134}I و ^{138}Cs - ^{88}Rb . انرژی گامای حاصل از این رادیو ایزوتوپهای بگونه ای است که با گامای ناشی از ایزوتوپهای حاصل از فعالسازی نوترونی تداخل کرده و هم پوشانی پیدا می کنند. در جدول (۱) اطلاعات مربوط به این ایزوتوپها ارائه شده است.

در این تحقیق از هوای خروجی HUT در مسیر انتقال به stack راکتور برای طیف سنجی گاما با استفاده از یک عدد آشکار ساز یدور سدیم دو اینچ استفاده شده است. در طیف گامای حاصل از هوای خروجی HUT فقط پیک



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

حاصل از Ar41 با انرژی 1293 keV بصورت واضح مشاهده می شود (شکل ۴ ب). آب خنک کننده مدار اولیه حدود ۲ ثانیه پس عبور از قلب راکتور وارد HUT می شود. توسط یک پمپ گازهای خارج شده از آب HUT به طرف Stack راکتور منتقل می شود. در شکل ۲ نمای عمودی استخر راکتور، HUT و محل نصب آشکارساز نمایش داده شده است. سیستمهای اندازه گیری و طیف سنجی در فاصله نسبتاً زیادی از محل نصب آشکارساز و در سالن راکتور نصب شده است. علاوه بر طیف سنجی کاما بوسیله آنالیزر بس کاناله MCA (۱۰۲۴ کانال) از یک SCA (آنالیزر تک کاناله) برای شمارش ناحیه انرژی (Window) مورد نظر استفاده شده است. بلوک دیاگرام سیستم اندازه گیری و طیف سنجی در شکل ۳ ارائه شده است.

جدول (۱) مشخصات پاره های شکافت و ایزوتوپهای حاصل از فعالسازی نوترونی مشاهده شده در هوای خروجی

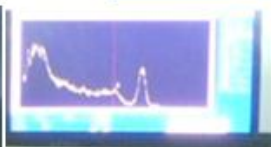
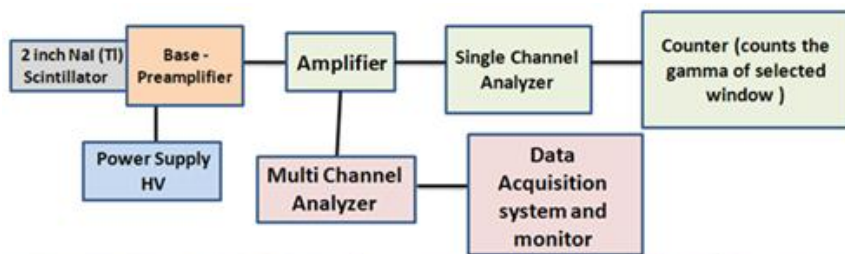
Fission fragments	Energy (KeV)	Br. Ratio (%)	Half Life	Daughter	NA Products	Energy (KeV)	Br. Ratio (%)	Half Life
Cs138	1435.86 462.79 1009.78	76.30 30.75 29.83	32.2 min	Ba138	Al28	1778.99	100.00	2.24 min



بیست و یکمین کنفرانس هسته ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

I134	405.44	7.35	52.6 min	Xe134m Xe134	Mg27	843.76 1014.43	71.40 28.60	9.46 min
	540.80	8.60						
	595.40	11.20						
	621.75	10.90						
	677.34	8.20						
	847.03	96.00						
	884.08	66.00						
	1072.00	14.30						
1136.12	9.15							
Rb88	898.03	14.5	17.8 min	Sr88	Na24	1368.60 2754.00	100.00 99.94	14.96 h
	1836.00	22.10						
	2677.86	2.02						





بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۱۷ و ۱۸ فروردین ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

شکل (3) سیستم اسپکتروسکوپی نصب شده در HUT، الکترونیک مربوطه و نمونه طیف جمع آوری شده

بحث و بررسی نتایج

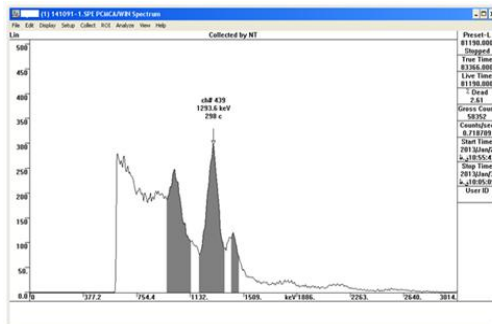
در شکل ۴ (الف) طیف حاصل از خروجی HUT ارائه شده است. همانگونه که در طیف مشاهده می شود، پیک Ar41 با انرژی 1293 keV بیشترین سهم واپاشی را در کل طیف دارد. در این طیف هیچ اثری از رادیویزوتوپهای مزاحم مانند Al28، Na24 و B10 مشاهده نمی شود. میزان Ar41 در طیف هوای خروجی HUT رابطه مستقیم با هوای محلول در آب مدار اولیه راکتور دارد. با کاهش هوا محلول در آب مدار اولیه توانستیم تا ۴۰٪ میزان Ar41 را در اثر برهمکنش (n,y) از Ar40 تولید می شود، کاهش دهیم. همانگونه قبلا اشاره شد، محل نصب آشکارساز سنتیلاتور قبل از ورودی هوای HUT به Stack راکتور می باشد و هوا پس از عبور از مقابل آشکارساز توسط دو سری فیلتر مخصوص فیلتر شده و سپس وارد جو می شود.

طیف الف در شکل ۴ مربوط به زمانی می باشد که بیشترین نشتی محصولات شکافت به آب مدار اولیه وارد شده است. به همین دلیل تقریباً اغلب محصولات شکافت (با نیمه عمر کوتاه و متوسط) در طیف (هرچند به مقدار کم) مشاهده می شوند. در شکلهای ب، ج و د نواحی مختلفی از انرژی گاما برای بررسی و تشخیص بهترین ناحیه برای تنظیم ناحیه شمارش گاما (window) ارائه شده است. در شکل ۴ ب محل انرژی اغلب محصولات شکافت با نیمه عمر نسبتاً کوتاه (حدود چند ۱۰ دقیقه) ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل بهترین ناحیه برای شمارش گاما، ناحیه انرژی 600keV تا 900keV تعیین شده است. با توجه به شیف انرژی که در اثر تغییرات دمایی در محل نصب آشکارساز وجود دارد، استفاده از این ناحیه انرژی مستلزم نصب تجهیزات تثبیتگر بهره (Gain stabilizer) در سیستم طیف سنجی می باشد. اما با انتخاب ناحیه شمارش بزرگتر می تواند با از دست دادن مقدار کمی از آستانه تشخیص (detection Limit) با اطمینان بیشتری کنترل نشتی را انجام داد. ناحیه انرژی انتخاب شده در این تحقیق 600keV تا 1800keV در نظر گرفته شده است. با انتخاب window بزرگتر و کاهش اکتویته ناشی از Ar41 سیستم نصب شده پاسخگوی کنترل نشتی Clad راکتور بوده و در حال حاضر بعنوان یکی از سیستمهای کنترلی راکتور تحقیقاتی تهران مورد استفاده قرار می گیرد. در این ناحیه انرژی شمارش گاماهای ناشی از محصولات شکافت و مخصوصاً Cs138 و Rb88، I134 به دلیل داشتن نیمه نسبتاً کوتاه به خوبی انجام می گیرد. شمارش در این ناحیه وقتی که راکتور با قدرت 4MW روشن می شود، بین 2800 تا 3200 شمارش در 10 ثانیه، نوسان می کند. این نوسان علاوه بر مسئله آمار شمارش به خاطر تغییرات هوای محلول در آب مدار اولیه و تغییرات میزان Ar41 اتفاق می افتد. این سیستم در حال حاضر بعنوان سیستم کنترل نشتی غلاف سوخت (Fuel Clad Monitor) راکتور تحقیقاتی تهران در حال بهره برداری می باشد.

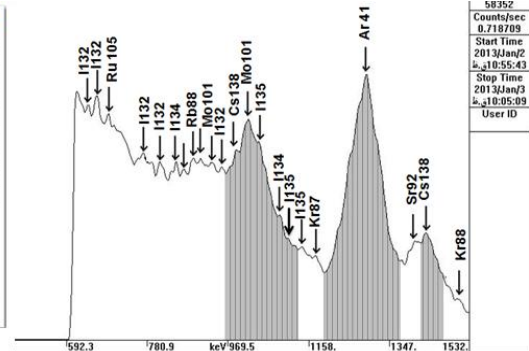


بیت ویکمین کنفرانس هشتای ایران

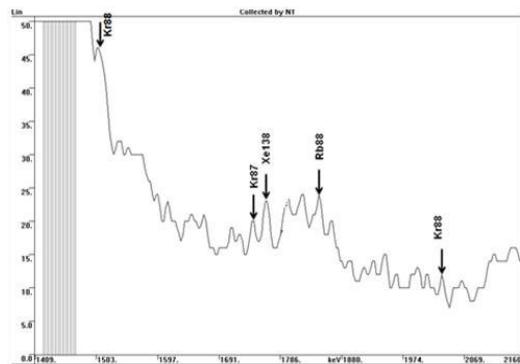
ع ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



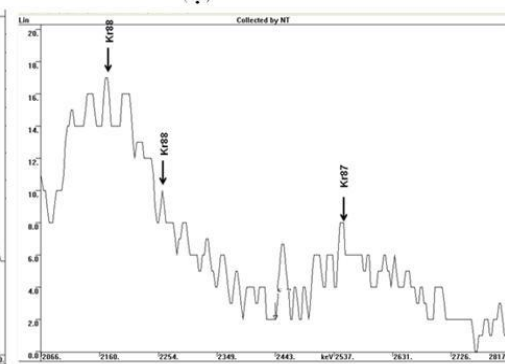
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل (4) (الف) طیف جمع آوری شده از هوای خروجی از HUT (ب) پاره های شکافت شناسایی شده در ناحیه انرژی ۵۵۰KeV تا ۱۵۵۰KeV از طیف (ج) پاره های شکافت شناسایی شده در ناحیه انرژی ۱۵۰۰KeV تا ۲۲۰۰KeV از طیف (د) پاره های شکافت شناسایی شده در ناحیه انرژی ۲۰۰۰KeV تا ۲۸۰۰KeV از طیف.

منابع

1) T.V. Delorme, A.C. Groenewegen, A. van der Kooij, W.J.C. Okx, " Experience with different methods for on- and off-line detection of small releases of fission products from fuel elements at the HOR, Reactor Institute Delft, Delft University of Technology.

۲) تقی عبداللهی، " طراحی ، ساخت و نصب یک سیستم مانیتورینگ نشت پاره های شکافت از غلاف سوخت در راکتور تحقیقاتی تهران TRR "، پایان نامه کارشناسی ارشد، دی ماه ۱۳۸۸