

محاسبات اکتیویته عناصر رادیواکتیو در قلب راکتور تحقیقاتی تهران

تهرانی، نفیسه* - خاکشورنیا، صمد

سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده توسعه کاربرد پرتوها

چکیده

در این مقاله تحلیل عناصر رادیواکتیو در قلب راکتور تحقیقاتی تهران با استفاده از کد محاسباتی ORIGEN 2.1 ارائه شده است. ابتدا جهت اطمینان از نحوه مدل‌سازی، محاسبات انجام شده، با نتایج مندرج در "گزارش تحلیل ایمنی راکتور تحقیقاتی تهران (SAR)" برای قلب مشابه، مقایسه می‌شود. پس از اطمینان از صحت نتایج، اکتیویته محصولات شکافت، محصولات اکتیواسیون و اکتینیدها در قلب فعلی راکتور تحقیقاتی تهران محاسبه می‌شود.

کلید واژه: عناصر رادیواکتیو، راکتور تحقیقاتی تهران، کد محاسباتی ORIGEN 2.1.

مقدمه

اولین گام در تحلیل ایمنی راکتورهای تحقیقاتی، تعیین وقایع آغازگر مفروض^۱ برای آن راکتور است. این وقایع آغازگر نوع حوادثی را که در تحلیل ایمنی راکتور بایستی در نظر گرفته شوند، تعریف می‌نمایند. به ازای هر واقعه آغازگر، در تحلیل ایمنی راکتور لازم است جملات چشمه^۲ مربوطه محاسبه و پی آمد رادیولوژیک نظیر مطالعه شود. جملات چشمه عبارت است از انواع و میزان عناصر رادیواکتیوی که در پی یک حادثه راکتور در محیط منتشر می‌شوند [۱]. در تحلیل ایمنی راکتور، ارزیابی پی آمد این حادثه برای افرادی که به نوعی در مجاورت راکتور هستند، تحت عنوان دز رادیولوژیکی جذب شده ناشی از آزاد شدن عناصر رادیواکتیو از قلب، حائز اهمیت است [۲]. در این مقاله، بمنظور

1. Postulated initiating event
2. Source terms

تعیین جملات چشمه برای ارزیابی اثرات رادیولوژیکی ناشی از آزاد شدن عناصر رادیو اکتیو از راکتور تحقیقاتی تهران، با استفاده از کد کامپیوتری ORIGEN 2.1، تحلیل عناصر رادیو اکتیو در قلب راکتور تهران شامل اولین قلب تعادلی و قلب پیشنهادی C-57، انجام می شود. قلب تعادلی راکتور تحقیقاتی تهران شامل ۲۲ SFE و ۵ CFE می باشد [۳]. قلب C-57، چیدمان فعلی قلب راکتور تحقیقاتی تهران است که شمای آن در شکل ۱ آمده است. این قلب شامل ۲۸ SFE و ۵ CFE می باشد [۴]. بدین ترتیب که ابتدا برای اولین قلب تعادلی راکتور تحقیقاتی تهران، فهرست عناصر رادیو اکتیو و اکتیویته هر یک تعیین شده [۵] و با نتایج محاسبات مندرج در گزارش تحلیل ایمنی راکتور تحقیقاتی تهران (SAR) [۶] در شرایط مشابه، مقایسه می شود. این کار جهت اطمینان از نحوه مدلسازی و اعتبار کد انجام می شود. سپس این محاسبات برای قلب C-57 راکتور تحقیقاتی تهران [۷]، تکرار شده است. نتایج خروجی این محاسبات، بعنوان ورودی کدهایی نظیر "HOTSPOT" و "PC-CREAM" مورد استفاده قرار می گیرند که بر اساس آن، ارزیابی اثرات رادیولوژیکی ناشی از آزاد شدن عناصر رادیو اکتیو، انجام خواهد شد.

9	IR Box	GR Box	GR Box	GR Box	IR Box	GR Box
8	A 132	AS 31	A 118	A 76	A 124	A 129
7	A 114	A 104	A 101	A 105	AS 22	A 113
6	A 127	AS 23	A 145	IR Box	A 72	A 123
5	A 108	A 103	A 136	A 146	AS 30	A 122
4	A 109	A 110	AS 32	A 117	A 107	A 128
3	A 130	A 125	A 119	IR Box	A 131	IR Box
2	GR Box	GR Box	N.S	GR Box	GR Box	GR Box
1	GR Box	GR Box	GR Box	GR Box	GR Box	GR Box
	A	B	C	D	E	F

شکل ۱ - چیدمان فعلی قلب راکتور تحقیقاتی تهران (C-57)

3. Standard Fuel Element

4. Control Fuel Element

روش کار

کد ORIGEN 2.1 یک کد کامپیوتری چند منظوره برای محاسبات مصرف سوخت، واپاشی و اکتیویته عناصر رادیو اکتیو در قلب راکتور است. سطح مقطع برهمکنشها، بهره‌ی محصولات شکافت، داده‌های واپاشی

محصولات شکافت و اکتیواسیون، و نرخ آزاد شدن فوتون در چندین گروه انرژی ناشی از واپاشی این محصولات در کد موجود هستند و یا با استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه ها در طی اجرای کد قابل محاسبه می باشند. فایل ورودی کد بسیار انعطاف پذیر است و به استفاده کننده اجازه می دهد که میزان مصرف سوخت و فهرست عناصر رادیو اکتیو را به صورت تابعی از زمان بهره برداری از راکتور و همچنین در بازه های زمانی مشخص پس از خاموشی راکتور محاسبه نماید. این کد، عناصر رادیو اکتیو را به سه گروه محصولات اکتیواسیون، اکتینیدها و محصولات شکافت طبقه بندی و در خروجی کد فهرست هر یک از عناصر این سه گروه را همراه با سهم اکتیویته مربوطه به طور جداگانه چاپ می نماید [۸ و ۹].

در این مقاله، ابتدا فهرست سه گروه عناصر رادیو اکتیو برای اولین قلب تعادلی LEU-FE راکتور تحقیقاتی تهران بوسیله کد محاسباتی ORIGEN 2.1 محاسبه شده است. بمنظور مقایسه با نتایج مندرج در SAR راکتور تهران، در ورودی کد شرایط مشابه برای بهره برداری از راکتور تحقیقاتی تهران در توان ۵ MW به مدت ۲۹۵ روز به طور مداوم برای قلب تعادلی شبیه سازی شده است. این مدت زمان معادل مصرف سوخت متوسط ۴۰۰۰۰ MWd/TU است. سپس با مقایسه نتایج محاسبات فوق با نتایج نظیر در SAR راکتور تحقیقاتی تهران و اطمینان از صحت محاسبات، محاسبات مرحله دوم انجام می شود. در مرحله دوم، محاسبات مربوط به عناصر رادیو اکتیو موجود در قلب ۵۷-C راکتور تحقیقاتی تهران انجام شده است. با در نظر گرفتن چیدمان سوخت در این قلب، تاریخچه ی دقیق پرتودهی هر عنصر سوخت از دفتر کار راکتور استخراج شده است.

فایل های ورودی برای کد محاسباتی ORIGEN 2.1 طراحی شده، بدین ترتیب که برای هر عنصر سوخت فایل ورودی جداگانه ای طراحی می شود که در آن کتابخانه های مورد استفاده، میزان اورانیوم اولیه، مقدار آلومینیوم موجود در عنصر سوخت شامل غلاف و نگهدارنده ی آلومینیومی سوخت ها، ناخالصی های سوخت، زمان پرتودهی و زمان واپاشی برای عنصر سوخت مورد نظر به طور جداگانه تعریف شده است. با اجرای کد محاسباتی ORIGEN 2.1، فهرست محصولات شکافت، محصولات اکتیواسیون و اکتینیدها برای هر یک از عناصر سوخت تعیین می شوند. فهرست عناصر رادیو اکتیو کل قلب، جمع فهرست عناصر رادیو اکتیو در عناصر سوخت در قلب می باشند [۸]. بنابراین برای محاسبه ی اکتیویته قلب مورد نظر ابتدا اکتیویته هر یک از عناصر سوخت موجود در قلب محاسبه شده، و سپس از جمع آنها اکتیویته کل قلب حاصل می شود. تاریخچه توان متفاوت عناصر سوخت و میزان مصرف سوخت متفاوت عناصر سوخت از ویژگی هایی هستند که در داده های ورودی کد مشخص می شوند. برای این منظور کل مدت زمان حضور هر عنصر سوخت در قلب و توان تولید شده آن محاسبه شده و برای ورودی کد ORIGEN 2.1 مورد استفاده قرار گرفته است.



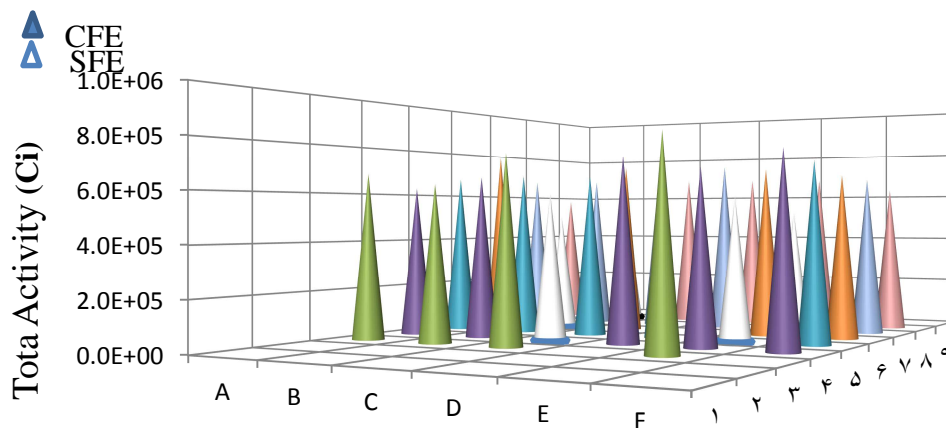
نتایج

با مراجعه به خروجی کد محاسباتی ORIGEN 2.1، اطلاعات مربوط به اکتیویته تمام عناصر رادیو اکتیو موجود در اولین قلب تعادلی و قلب C-57 راکتور تهران را در اختیار داریم. جداول و نمودارهای زیر نتایج حاصل از این خروجی‌ها را نمایش می‌دهند. در جدول ۱ نتایج محاسبات کد ORIGEN 2.1 برای اکتیویته فهرست محصولات اکتیواسیون، اکتینیدها و محصولات شکافت موجود در اولین قلب تعادلی راکتور تحقیقاتی تهران (مرحله اول محاسبات) [۵] و قلب C-57 راکتور تحقیقاتی تهران (مرحله دوم محاسبات) [۷] همراه با نتایج مندرج در SAR راکتور تحقیقاتی تهران [۶] داده شده است. با مقایسه ستون‌های دوم و سوم این جدول و توافق نسبتاً خوبی که بین این نتایج دیده می‌شود، اطمینان لازم از صحت محاسبات حاصل می‌شود.

همانطور که انتظار می‌رود اکتیویته ناشی از آزاد شدن محصولات شکافت در مقایسه با اکتیویته محصولات اکتیواسیون و اکتینیدها، بیشترین سهم را در اکتیویته کل داراست.

جدول ۱- اکتیویته رادیونوکلئیدهای موجود در قلب راکتور تهران (خروجی کد ORIGEN2.1، بر حسب Ci)

محاسبات مختلف رادیونوکلئید	اولین قلب تعادلی، نتایج مندرج در SAR [۶]	اولین قلب تعادلی، نتایج محاسبات حاضر	قلب C-57، نتایج محاسبات حاضر
محصولات اکتیواسیون	$3/0 \times 10^{\circ}$	$3/26 \times 10^{\circ}$	$3/25 \times 10^{\circ}$
اکتینیدها	$8/0 \times 10^{\circ}$	$8/27 \times 10^{\circ}$	$8/68 \times 10^{\circ}$
محصولات شکافت	$2/37 \times 10^{\vee}$	$2/38 \times 10^{\vee}$	$2/20 \times 10^{\vee}$
اکتیویته کل	$2/48 \times 10^{\vee}$	$2/49 \times 10^{\vee}$	$2/32 \times 10^{\vee}$



شکل ۲ - توزیع اکتیویته کل شامل محصولات شکافت، محصولات اکتیواسیون و اکتینیدها برای قلب C-۵۷ راکتور تحقیقاتی تهران

بحث و نتیجه گیری

هدف اولیه از انجام این کار، اطمینان از صحت محاسبات انجام شده با کد کامپیوتری ORIGEN 2.1 بود. لذا با در نظر گرفتن شرایط بهره برداری از راکتور در تهیه داده های ورودی به کد، تا حد امکان مشابه با شرایط مندرج در SAR راکتور تهران، محاسبات برای قلب تعادلی اولیه انجام شد. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود بین نتایج محاسبه شده و نتایج موجود در SAR توافق نسبتاً خوبی برقرار است و این اختلاف جزئی ناشی از نحوه شبیه سازی و مشخص نبودن فرضیات اولیه برای ورودی تهیه شده کد ORIGEN 2.1 در SAR می باشد.

سپس، محاسبات برای قلب C-۵۷ راکتور تحقیقاتی تهران انجام شد که نتایج اکتیویته حاصل از محصولات شکافت، محصولات اکتیواسیون و اکتینیدها، در مقاله ارائه شده است. به این ترتیب امکان انجام این نوع محاسبات برای هر قلب دلخواه این راکتور وجود دارد. و نهایتاً این که با استفاده از نتایج این محاسبات،



میتوان اثرات رادیو لوژیکی ناشی از آزاد شدن عناصر رادیواکتیو بر روی محیط زیست را با استفاده از کدهای مربوطه مطالعه نمود.

سپاسگذاری

از جناب آقای مهندس کیوانی کمال تشکر را داریم، که اطلاعات مربوط به قلب و محاسبات مربوطه را در اختیار ما قرار دادند.

مراجع

1. NRC, Glossary, Available at WWW.NRC.gov
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Research Reactor Core Conversion Guidebook, IAEA-TECDOC-643, Vol. 2, IAEA, Vienna, 1992.
3. T.R.R Amendment to the Safety Analysis Report, Prov. de Rio Negro, Argent. , Sep. 1989.
4. Tehran Research Reactor Logbooks
ن.تهرانی، "محاسبات source term ها در راکتور تحقیقاتی تهران(بخش اول:قلب تعادلی)"، سازمان انرژی اتمی ایران، 5.
پژوهشکده تحقیقات و توسعه راکتورها و شتابدهنده ها، خرداد ۱۳۹۰.
6. Atomic Energy Organization of Iran, "Safety Analysis Report for Tehran Research Reactor"; January 2009
ن.تهرانی، "محاسبات source term ها در راکتور تحقیقاتی تهران(بخش دوم:قلب C-۵۷)"، سازمان انرژی اتمی ایران، 7.
معاونت توسعه کاربرد پرتوها، مهر ۱۳۹۰.
8. Crofft, A.G, "A User's Manual for the ORIGEN2.1 Computer Code", Rep. ORNL/TM-7175Oak Ridge National Laboratory, July 1980.
9. International Atomic Energy Agency, Safety Reports Series No.53; "Derivation of the Source Term and Analysis of the Radiological Consequences of Research Reactor Accidents", VIENNA, 2008