



امکان سنجی تولید ^{60}Co با استفاده از روش پرتودهی هدف های اکسید نیکل و اکسید مس در راکتور تحقیقاتی تهران

غلامزاده، زهره - جزءوزیری، عطیه* - کاردان، محمدرضا - داوری، امین - باورنگین، الهام -

گلشنیان، محدثه - یوسفی، علی - علوی، مسیح - کاظمی دستجردی، محسن

سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای

چکیده:

تولید چشمه های استاندارد با اکتیویته در حد میکروکوری و یا کمتر نیاز مبرم کشور برای کالیبراسون آشکار سازهای هسته ای است. لذا در این پژوهش، تولید چشمه استاندارد کبالت- ^{60}Co به روش پرتودهی ماده هدف غیر همجنس با کبالت به منظور فراهم آمدن امکان جدا سازی مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از روش شبیه سازی پروفایل انتقال حرارت و نیز میزان تولید رادیوایزوتوپ کبالت- ^{60}Co بررسی گردید. محاسبات و تست عملی انجام شده در این کار نشان داد این روش منحصر به فرد می تواند به خوبی نیاز داخلی کشور را برآورده نماید.

کلمات کلیدی: راکتور تحقیقاتی تهران، امکانسنجی تولید چشمه استاندارد ^{60}Co ، کد MCNPX

The feasibility of ^{60}Co production by nickel oxide and copper oxide targets irradiation method in the Tehran Research Reactor

Gholamzadeh, Zohreh - Jozevaziri, Atieh - Kardan, Mohammad reza - Davari, amin - Bavarnegin, Elham - Golshanian, Mohadeseh - Yousefi, Ali - Alavi, Masih - Kazemi dastgerdi, Mohsen

Atomic Energy Organization, Nuclear Science and Technology Research Institute, Reactor and Nuclear Safety Institute

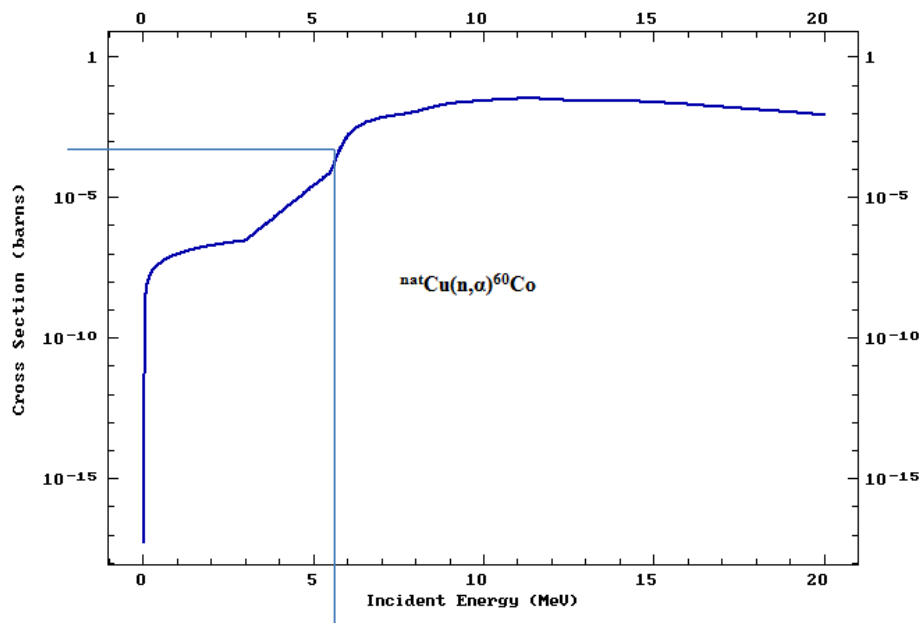
The production of standard sources with microcurie levels or less, is the country's necessary need for calibration of nuclear detectors. Therefore, the aim of this research is production of ^{60}Co standard sources with different target materials. The heat transfer profile and the ^{60}Co radioisotope production have been simulated by thermo hydraulic and neutronic codes. The calculations and practical tests show that this unique method can satisfy the needs of the country.

Keywords: Tehran Research Reactor, ^{60}Co standard source production, MCNPX code

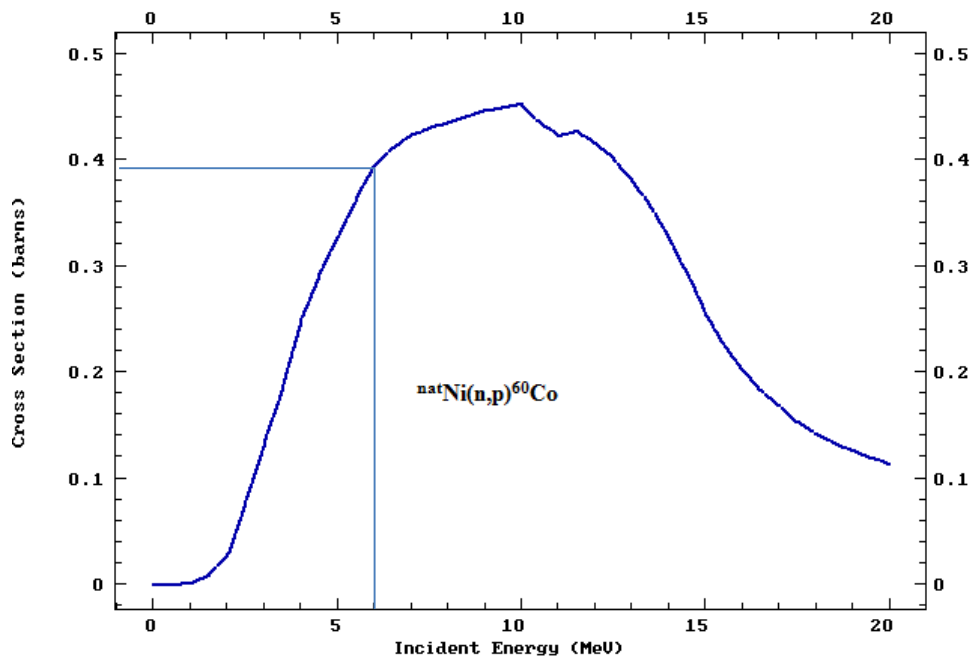
مقدمه :



کبالت-۶۰ یک ایزوتوپ رادیواکتیو مصنوعی کبالت با نیمه عمر ۵/۲۱۴۴ سال است. این ایزوتوپ مصنوعی در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود. تولید صنعتی عمداً با روش فعال سازی نوترونی هدف های ^{59}Co مونوایزوتوپ تولید می‌شود. فعال سازی نوترونی ایزوتوپ های آهن در سازه های فولادی راکتور است نیز منجر به تولید کبالت-۶۰ در نیروگاه های هسته‌ای می‌گردد این رادیوایزوتوپ دو اشعه گاما را با انرژی ۱/۱۷ و ۱/۳۳ مگاوات انتشار می‌دهد. همچنین با فراوانی ۰/۰۰۲۲٪ ذره بتا با انرژی ۲/۱ MeV نیز از چشمه کبالت-۶۰ گسیل می‌گردد [۵-۱]. به منظور تولید کبالت-۶۰ می‌توان از مواد هدف اکسید کبالت، اکسید مس و یا اکسید نیکل استفاده نمود. از آنجائیکه تولید مقدار بسیار کم چشمه مد نظر است و مقادیر زیاد ماده هدف مزاحمت ایجاد خواهد کرد استفاده از نیکل و یا مس می‌تواند گزینه مناسبی باشد زیرا جداسازی کبالت از مس و یا سایر ناخالصی های ممکن امکان پذیر است درحالیکه جداسازی کبالت-۶۰ و کبالت-۵۹ به روش های رادیوشیمیایی امکان پذیر نیست. سطح مقطع تولید کبالت-۶۰ در این مواد هدف بررسی شد (شکل ۱ و ۲). سطح مقطع تولید کبالت-۶۰ در مس با انرژی نوترون $E_n < 1 \text{ MeV}$ حدود $0/1 \mu\text{b}$ است و تا انرژی ۶ MeV به حدود ۵۰ mb می‌رسد. سطح مقطع تولید کبالت-۶۰ در نیکل با انرژی نوترون $E_n < 1 \text{ MeV}$ تقریباً صفر است و تا انرژی ۶ MeV به حدود ۳۵۰ mb می‌رسد. لذا اکسید مس و نیکل گزینه مناسبی برای تولید کبالت-۶۰ به نظر می‌رسند.



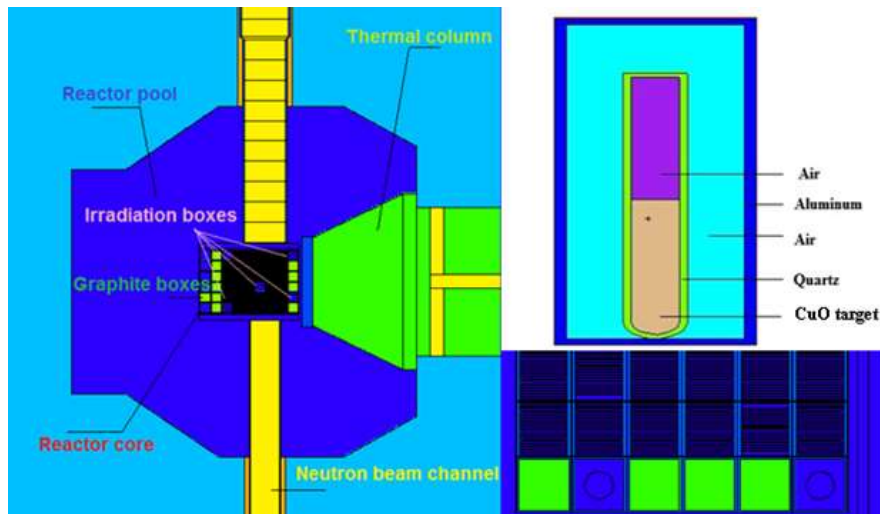
شکل ۱- سطح مقطع تولید ^{60}Co [۶]



شکل ۲- سطح مقطع تولید ^{60}Co [۶]

روش کار :

در ابتدا قلب راکتور تهران توسط کد MCNPX2.6.0 شبیه سازی شد. شماتیک قلب مدل شده در شکل ۳ نشان داده شده است. به منظور انجام محاسبات با دقت بالا در مد KCODE از ۴۵۰ سیکل فعال و ترابرد ۵۰۰۰۰ ذره استفاده شد. برای پرتودهی نمونه از ویال کوارتز استفاده شد. لذا ابعاد ویال کوارتز در بردارنده ماده هدف و مخزن آلومینومی در بردارنده ویال کوارتز با دقت شبیه سازی شد. این مخزن در کانال A3 راکتور پرتودهی می گردد. لذا این مخزن آلومینومی با قطر ۲/۵ cm و ارتفاع ۷ cm در مکان مورد نظر درون قلب شبیه سازی شد. قطر ویال کوارتز ۰/۳ cm است و تا ۲ cm آن پودر اکسید مس و یا اکسید نیکل پر می شود و مابقی فضای آن هوا قرار دارد (تقریباً نصف ارتفاع ویال).



شکل ۳- شماتیک قلب مدل شده توسط کد MCNPX2.6.0

با استفاده از تالی F6 گرمای بجای مانده در قسمت های مختلف سیستم هدف محاسبه گردید و با استفاده از کدهای GAMBIT/FLUENT محاسبات انتقال حرارت ماده هدف انجام شد. سپس با استفاده از کارت Burnup مصرف ماده هدف در توان ۴ MW محاسبه گردید. هدف این کار تولید چشمه استاندارد کبالت-۶۰ با اکتیویته حدود $1 \mu\text{Ci}$ برای کالیبراسیون آشکارسازهای آزمایشگاه های مونیترینگ است. این چشمه باید اکتیویته در واحد حجم بالایی داشته باشد که با تابش دهی کبالت-۵۹ در زمانهای کوتاه (کمتر از ۱ ماه) امکان پذیر نیست. زیرا کبالت-۶۰ تولید شده نمی تواند به روش شیمیایی از کبالت-۵۹ جداسازی گردد و این مسئله باعث حضور ماده مزاحم (ماده کبالت-۵۹ هدف) و عدم قابلیت مناسب برای تولید چشمه یکنواخت کبالت-۶۰ خواهد شد. در این پژوهش ۱ گرم اکسید مس و یا اکسید نیکل در زمانهای کوتاه پرتودهی می تواند اکتیویته مناسب را تولید نموده و نیز مقدار میکروگرم ماده کبالت-۶۰ از سایر رادیوایزوتوپها به روش شیمیایی جدا خواهد شد. در شکل ۴ نمایی از چشمه استاندارد IAEA نشان داده شده است.

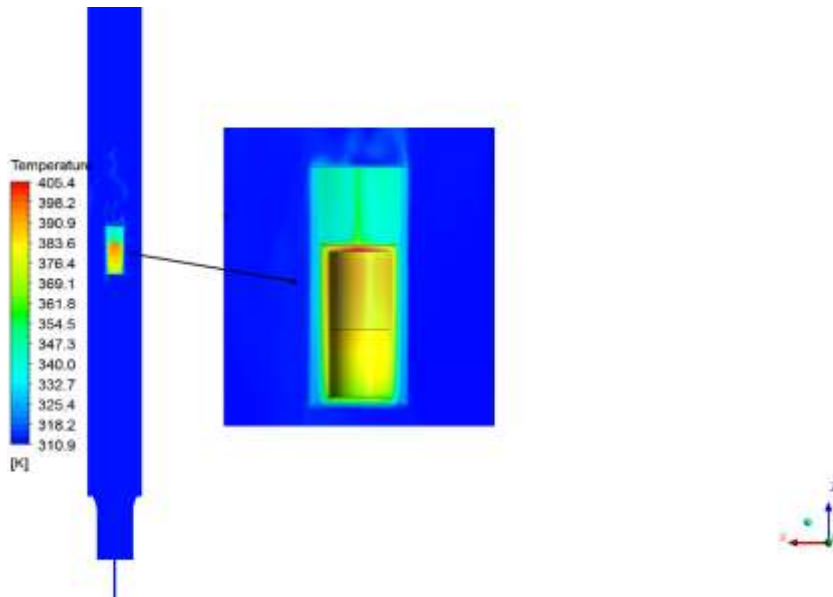


شکل ۴- نمایی از چشمه استاندارد برای کالیبراسیون آشکارسازهای هسته‌ای

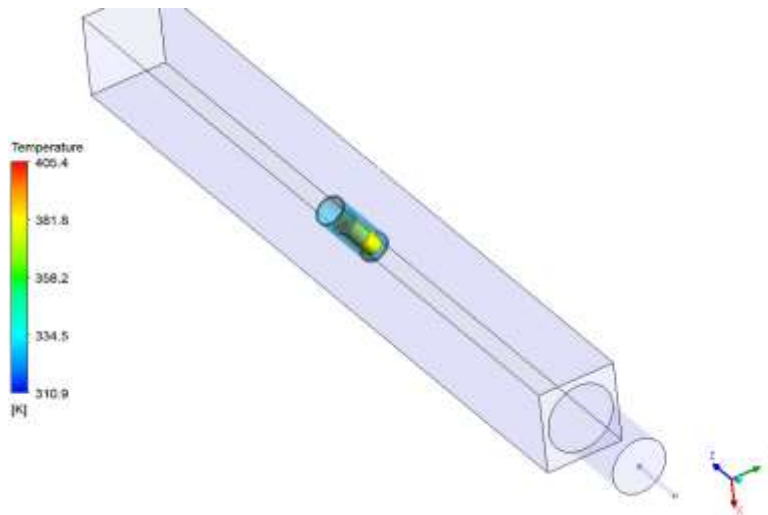
پس از انجام محاسبات، ۱ گرم اکسید مس در راکتور تحقیقاتی تهران به مدت ۲/۷۵ روز پرتودهی شد و طیف ماده هدف تابش دیده با HPGe آنالیز شد و اکتیویته کبالت-۶۰ اندازه گیری شد.

نتایج :

در شکل ۵، پروفایل دمایی ویال شیشه‌ای محتوی اکسید مس ضمن تابش دهی هدف نشان داده شده است. محاسبات انجام شده با کد GAMBIT/FLUENT نشان داد دمای داغ‌ترین نقطه که در تماس با هوا است، ضمن تابش دهی 132°C است. نقطه ذوب این پودر سیاه رنگ 1326°C است. ضریب انتقال حرارت اکسید مس بین $69-76\text{ W/mK}$ است. شکل ۶ نمایی از محل قرارگیری ویال محتوی نمونه درون can آلومینیوم ضمن تابش دهی در کانال راکتور را نشان می‌دهد.



شکل ۵- پروفایل دمایی سیستم هدف محتوی CuO ضمن تابش دهی درون کانال راکتور



شکل ۶- نمایی از محل قرارگیری سیستم هدف محتوی CuO درون کانال پرتو دهی



محاسبات مصرف سوخت نشان داد اکسید مس رفتار مناسب تری را برای تولید کبالت-۶۰ ارائه می نماید. زیرا تنها ناخالصی های بلند-عمر تولید شده ^{63}Ni و ^{65}Zn هستند (جدول ۱).

جدول ۱- بررسی تولید رادیوایزوتوپهای مختلف در پودر اکسید مس ضمن تابش دهی در توان ۴ MW

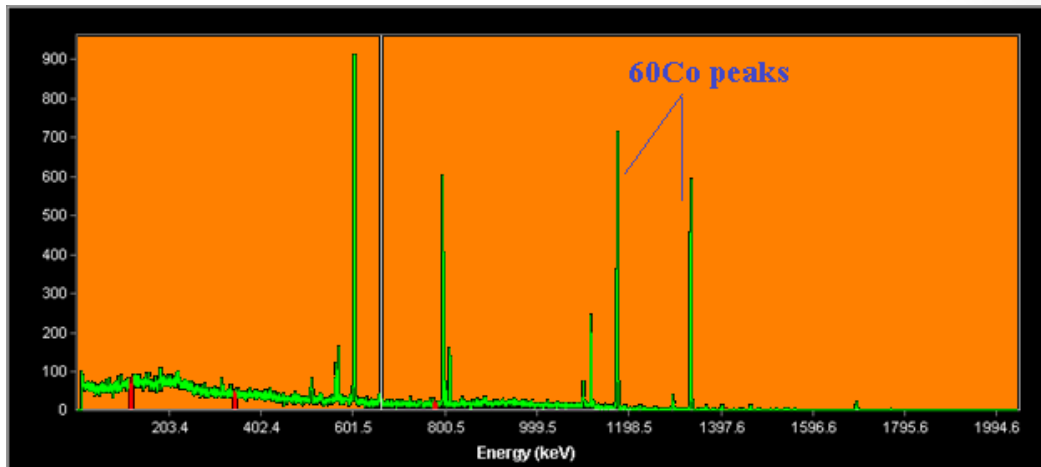
^{65}Zn (Ci)	^{66}Cu (Ci)	^{64}Cu (Ci)	^{63}Ni (Ci)	^{60}Co (Ci)	زمان پرتودهی (روز)
نیمه عمر ۲۴۴/۲۶ روز	نیمه عمر ۵/۱۲ دقیقه	نیمه عمر ۱۲/۷ سال	نیمه عمر ۱۰۰/۱ سال	نیمه عمر ۵/۲۷۱۴ سال	۷
-	۵/۴۴	$۲/۶۲ \times ۱۰^{-۶}$	$۱/۸۶ \times ۱۰^{-۶}$	$۱/۰۴ \times ۱۰^{-۶}$	۱۴
$۲/۹۵ \times ۱۰^{-۶}$	۵/۴۲	$۲/۶۵ \times ۱۰^{-۶}$	$۳/۲۸ \times ۱۰^{-۶}$	$۲/۰۷ \times ۱۰^{-۶}$	۲۱
$۶/۳۱ \times ۱۰^{-۶}$	۵/۷۹	$۲/۶۴ \times ۱۰^{-۶}$	$۴/۵۰ \times ۱۰^{-۶}$	$۵/۸۰ \times ۱۰^{-۶}$	اکتیویته کل پس از ۷ روز خنک شدن
$۲/۷۷ \times ۱۰^{-۳}$					

محاسبات burnup نشان داد به دلیل تولید ^{59}Ni ، ^{55}Fe و ^{63}Ni و همچنین عدم افزایش تولید کبالت-۶۰ (μCi) نسبت به روش تولید با استفاده از اکسید مس ($۵/۸۰ \mu\text{Ci}$) می تواند این روش را در درجه قابل قبولی کمتری نسبت به تابش دهی اکسید مس مطرح کند.

جدول ۲- بررسی تولید رادیوایزوتوپهای مختلف در پودر اکسید نیکل ضمن تابش دهی در توان ۴ MW

^{65}Ni (Ci)	^{63}Ni (Ci)	^{59}Ni (Ci)	^{60}Co (Ci)	^{58}Co (Ci)	^{55}Fe (Ci)	پرتودهی (روز)
نیمه عمر ۲/۵۱۷۲ ساعت	نیمه عمر ۱۰۰/۱ سال	نیمه عمر ۷۶۰۰۰ سال	نیمه عمر ۵/۲۷ سال	نیمه عمر ۷۰/۸۶ روز	نیمه عمر ۲/۷۳ سال	
$۱/۱۴ \times ۱۰^{-۱}$	$۵/۸۱ \times ۱۰^{-۴}$	$۵/۰۱ \times ۱۰^{-۶}$	$۱/۳۲ \times ۱۰^{-۶}$	$۱/۰۲ \times ۱۰^{-۲}$	$۲/۲۷ \times ۱۰^{-۵}$	
$۱/۱۵ \times ۱۰^{-۱}$	$۱/۱۶ \times ۱۰^{-۳}$	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۵}$	$۲/۹۲ \times ۱۰^{-۶}$	$۲/۱۲ \times ۱۰^{-۲}$	$۴/۷۷ \times ۱۰^{-۵}$	
$۱/۱۴ \times ۱۰^{-۱}$	$۱/۷۴ \times ۱۰^{-۳}$	$۱/۵۰ \times ۱۰^{-۵}$	$۳/۹۸ \times ۱۰^{-۶}$	$۲/۸۶ \times ۱۰^{-۲}$	$۶/۷۷ \times ۱۰^{-۵}$	
$۲/۹۱ \times ۱۰^{-۲}$						کل پس از ۷ روز خنک شدن

پس از محاسبات، ویال شبیه سازی شده به صورت عملی به مدت ۲/۷۵ روز در توان ۴ MW پرتودهی شد و طیف ماده پرتو دیده آنالیز گردید. محاسبه سطح زیر پیک گاماها کبالت-۶۰ نشان داد میزان تولید $۰/۸۵ \mu\text{Ci}$ با مقدار محاسبه شده تولید $۰/۹۰ \mu\text{Ci}$ حدود ۶٪ اختلاف نسبی دارد. در شکل ۷ پیک گاماها کبالت ۶۰ به خوبی دیده می شود.



شکل ۷- طیف سنجی اکسید مس تابش دهی شده در قلب راکتور تهران

بحث و نتیجه گیری :

محاسبات انجام شده نشان می دهد که تابش دهی اکسید مس می تواند برای تولید مطلوب و خالص سازی کبالت-۶۰ در کمترین زمان ممکن و حضور مقادیر میکروگرم در $1-5 \text{ cm}^3$ حجم مایع مورد استفاده برای تولید چشمه استاندارد به عنوان یک روش منحصر به فرد مورد توجه قرار گیرد.

مراجع :

1. Malkoske, G. R. Cobalt-60 production in CANDU power reactors
2. Manual for reactor produced radioisotopes, IAEA-TECDOC-1340, January, 2003
3. Mushtaq Ahmad, COBALT-60 production in PARR-1, Pakistan Atomic Energy Commission
4. Fact Sheet 320-078, July 2002, Division of Environmental Health Office of Radiation Protection
5. V.G Shevchenko, Y.V Garoussov, V.I Lebedev, V.V Dmitriev, Practical results of ^{60}Co production at RBMK-reactors, Radiation Physics and Chemistry, Volume 63, Issues 3-6, March 2002, Pages 563-566
6. EXFOR: Experimental Nuclear Reaction Data