

## شبیه سازی تعیین غلظت اورانیوم موجود در پسمان های هسته ای با استفاده از روش طیف نگاری پرتوگاما توسط کد MCNP

پروین کاویانی - رعنا سلیمی

مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته ای اصفهان

### چکیده

برای تعیین غلظت اورانیوم موجود در پسمان های هسته ای می توان از روشهای مختلف طیف نگاری استفاده کرد. یکی از این روشها روش جذب پیک دیفرانسیلی<sup>۱</sup> است. در شرایطی می توان از این روش استفاده نمود که ضخامت اورانیوم موجود در پسمان، به حد ضخامت بی نهایت نرسیده باشد. در این روش با شبیه سازی شرایط توسط کد محاسباتی MCNP شدت نسبی پرتوهای گامای اورانیوم ۲۳۵ با انرژی های مختلف مورد بررسی قرار می گیرد. سپس با استفاده از چشمه خارجی میزان تضعیف در نمونه پسمان بدست می آید و در نهایت با استفاده از نتایج بدست آمده، غلظت اورانیوم موجود در پسمان توسط کد تعیین می گردد.

کلید واژه: روش جذب پیک دیفرانسیلی، خودحفاظی، مسافت آزاد میانگین، ضخامت بی نهایت.

### مقدمه

هدف از اندازه گیری میزان اورانیوم ۲۳۵ در بشکه های حاوی پسمان های هسته ای، اثبات حد ایمنی بحرانیت برای حمل و نگهداری این بشکه ها است. برای تعیین غلظت اورانیوم از روشهای مختلف طیف نگاری می توان استفاده کرد. یکی از این روشها روش جذب پیک دیفرانسیلی است که در این روش شدت نسبی پرتوهای گامای اورانیوم ۲۳۵ با انرژی های مختلف بررسی می گردد.

ولی از آن جا که توده های اورانیوم باعث جذب گاما می شوند (خودجذبی اورانیوم غلیظ ۸,۳۳ برابر اورانیوم رقیق است)، تعیین میزان دقیق اورانیوم موجود در پسمان های هسته ای امری پیچیده و مشکل است. با توجه به این مسئله، به منظور برآورده نمودن شرایط ایمنی در حمل و نگهداری بشکه های حاوی این پسمان ها و جلوگیری از تخمین پائین میزان اورانیوم ۲۳۵، بایستی بیشترین میزان خودحفاظی گاما را در نظر گرفت.

اگر میزان دز بیش از حد مجاز باشد بایستی بشکه ها را تخلیه کرده و پسمان ها را در چند بشکه جداگانه تقسیم نمود. اما این کار مستلزم صرف وقت زیاد و دریافت دز بالایی است و بهتر است تا آن جا که می توان از میزان تقریب ها کاست. بدین منظور شرایط ممکن را توسط کد شبیه سازی نموده و به بررسی تغییر شدت پرتوهای گامای اورانیوم ۲۳۵ با افزایش ضخامت توده اورانیومی می پردازیم.

<sup>۱</sup> Differential Peak Absorption (DPA)

## روش کار

به علت محدودیت روش اندازه گیری و به منظور اطمینان از ایمنی نتایج بدست آمده، بایستی چندین فرضیه را در هنگام بررسی میزان اورانیوم موجود در پسمان در نظر گرفت:

### ۱. خودحفاظی<sup>۲</sup>

در بررسی میزان جرم اورانیوم ۲۳۵ موجود در پسمان هسته ای فرض می شود که اورانیوم به شکل یک توده چگال است. که در این صورت ضریب خودحفاظی پرتو گامای  $186 \text{ keV}$  برابر با  $8,33$  می باشد. این ضریب از شبیه سازی چشمه های کالیبراسیون اورانیوم توسط کد MCNP بدست آمده (جدول ۱) و بدین معناست که فقط  $12\%$  از پرتوها گامای  $186 \text{ keV}$  اورانیوم به خارج از توده می رسند. بنابراین در صورتی که اورانیوم به صورت رقیق باشد، ضریب  $8,33$  را اضافی اعمال کرده و تقریب بالایی از اورانیوم بدست می آید.

### ۲. موقعیت اورانیوم در بشکه حاوی پسمان

در کالیبراسیون اورانیوم ۲۳۵ فرض بر این است که یک چشمه نقطه ای در بشکه، هنگامی توسط آشکارساز مشاهده می شود که آشکار ساز ناحیه ای را که چشمه در آن قرار گرفته اندازه گیری کند و فرض بر این است که چشمه در بقیه نواحی توسط آشکارساز مشاهده نمی گردد. اما از آن جا که چشمه در نواحی مجاور نیز توسط آشکارساز مشاهده می شود این امر باعث می گردد که باز هم جرم اورانیوم ۲۳۵ بالاتر از میزان واقعی تخمین زده شود. میزان بالا بودن تخمین بستگی به توزیع واقعی چشمه دارد. اما در شرایط اندازه گیری نوعی این ضریب برابر با ۳ است.

### ۳. تضعیف پرتو گاما در ماده پسمان

همان طور که گفته شد، جرم اورانیوم ۲۳۵ با این فرض محاسبه گردید که تمام اورانیوم ۲۳۵ به صورت یک چشمه نقطه ای در مرکز بشکه قرار گرفته (مکانی با کمترین حساسیت) و در عبور از ماده پسمان تضعیف می یابد. تخمین بالای حاصل از این فرضیه به توزیع واقعی اورانیوم موجود در بشکه و چگالی ماده پسمان بستگی دارد. با افزایش چگالی پسمان، این تخمین نیز افزایش می یابد. اما اصولاً چگالی پسمان ها کم است و تخمین بالای این عامل در مقایسه با دو عامل دیگر ناچیز است.

بایستی توجه داشت که هر سه فرضیه افزاینده هستند بنابراین تخمین بالای اورانیوم در یک بشکه می تواند  $50\%$  برابر مقدار واقعی باشد.

برای کاهش تقریب های بدست آمده و بدست آوردن نتایجی نزدیکتر به مقادیر واقعی می توان از روشهای مختلفی استفاده کرد. یکی از این روشها DPA است که بطور مختصر بررسی می گردد.

<sup>2</sup> Self shielding

## روش DPA

در این روش آهنگ شمارش پرتوهای گامای حاصل از یک ایزوتوپ با انرژی های مختلف بررسی می شود. هرچه اختلاف انرژی پرتوهای گاما بیشتر باشد این روش مؤثرتر است. برای مثال اورانیوم ۲۳۵ دارای چهار پرتو گاما با انرژی های مختلف و شدت های متفاوت است که در جدول (۱) آمده است.

از آن جا که تضعیف گاما تابعی از انرژی پرتو گاما است، براساس تفاوت در نسبت میزان شمارش ها در انرژی های مختلف با مقادیر تئوری می توان میزان تضعیف گاما در نمونه را بدون نیاز به چشمه خارجی و دیگر تصحیحات بدست آورد. اما همان طور که گفته شد استفاده از این روش در صورتی امکان پذیر است که ایزوتوپ مورد نظر، پرتوهای گاما با انرژی های متفاوت و شدت های مناسب گسیل کند.

علاوه براین در شرایطی که ضخامت توده از حد معینی بیشتر شود (این حد، بستگی به مسافت آزاد میانگین<sup>۳</sup> پرتو گاما در ماده نمونه مورد نظر دارد که این عامل نیز بستگی به انرژی پرتو گاما دارد) با افزایش اندازه توده، شدت پرتو گامایی که در آن انرژی به خارج از توده می رسد ثابت باقی می ماند. این ضخامت را تحت عنوان ضخامت بی نهایت<sup>۴</sup> شناخته اند. در شکل (۱) نمودار تغییر مسافت آزاد میانگین پرتو گامای  $185,7\text{keV}$  در چگالی های مختلف آمده است. همان گونه که مشاهده می گردد با افزایش چگالی اورانیوم، ضخامت بی نهایت کاهش می یابد.

در شکل های (۱-۲)، (۲-۲)، (۳-۱) و (۳-۲) تغییر شدت پرتوهای گامای اورانیوم ۲۳۵ در نمونه های اورانیوم با ابعاد مختلف در دو چگالی متفاوت آمده است.

همان گونه که در شکل ها نیز مشخص است با افزایش ضخامت نمونه اورانیوم، شدت پرتوهای گاما به صورت نمایی کاهش می یابد و تضعیف پرتوهای گامای کم انرژی، بیشتر است. با افزایش چگالی اورانیوم، میزان افت سریع تر است.

برای اورانیوم بی نهایت رقیق (بدون ضریب خودحفاظی) نسبت پیک های گاما با استفاده از نسبت شدت پیک های گاما که در جدول (۱) آمده است بدست می آید. ولی با افزایش چگالی اورانیوم، چون میزان تضعیف پرتوهای گامای کم انرژی در ماده بیشتر است، نسبت پیک ها نیز تغییر می کند.

در ابعاد مشخصی از توده اورانیوم، این نسبت ها به مقادیر ثابتی می رسند که همان ضخامت بی نهایت است و تقریباً ۷ برابر مسافت آزاد میانگین پرتو گاما در همان انرژی است. مقادیر نسبت پیکها در جدول (۳) آمده است.

در شکل های (۱-۴)، (۲-۴)، (۳-۴) و (۴-۴) تغییر این نسبت ها با افزایش قطر توده کروی اورانیوم در چگالی های مختلف آمده است.

<sup>3</sup> Mean free path

<sup>4</sup> Infinit thickness



توجه کنید که در چگالی های بالاتر نیز نسبت ها روند یکسانی را نشان می دهند اما سریع تر به مقادیر ثابت می رسند (یعنی در توده هایی با ابعاد کوچکتر).  
نسبت پیک ها تحت تاثیر ماده پسمان نیز تضعیف می شوند اما تاثیر آن خیلی کمتر از توده اورانیوم است چون چگالی و عدد اتمی پسمان خیلی کمتر از اورانیوم است.

## نتایج

جدول ۲ نسبت شدت پرتوهای گاما در اورانیوم رقیق

Energy Ratio	<sup>235</sup> U peak ratios
143.8/185.7	0.192
163.3/185.7	0.089
205.3/185.7	0.088

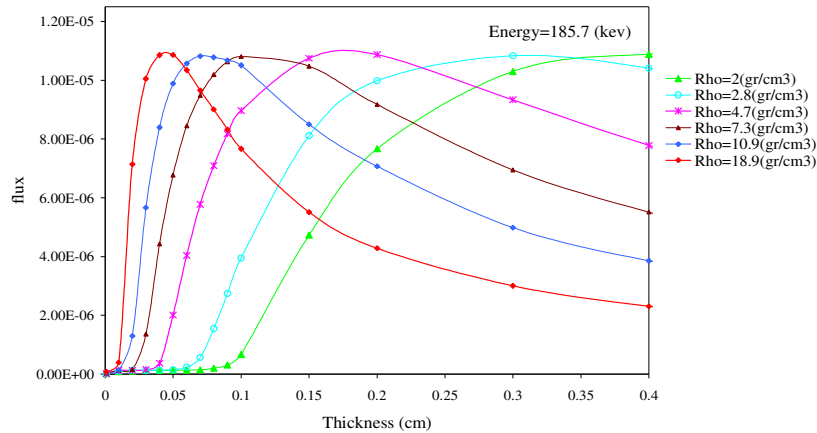
جدول ۱ شدت پرتوهای گامای اورانیوم ۲۳۵

Gamma Ray Energy (Kev)	Intensity Gammas/Bq
143.8	0.10962
163.3	0.050814
185.7	0.5724
205.3	0.050112

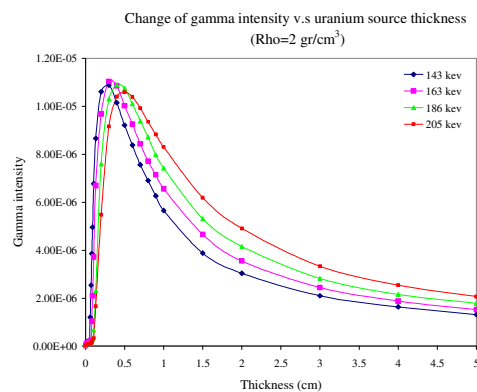
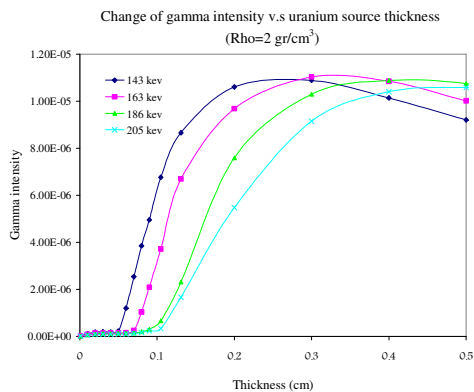
جدول ۳ نسبت شدت پرتوهای گامای اورانیوم ۲۳۵ در چگالی های مختلف

Density gr/cm <sup>3</sup>	143/185	163/185	205/185
0.7	0.24	0.106	0.078
2.1	0.15	0.08	0.10
4.7	0.142	0.08	0.104
10.9	0.141	0.08	0.104

تغییر مسافت آزاد میانگین پرتوهای گاما با تغییر چگالی اورانیوم

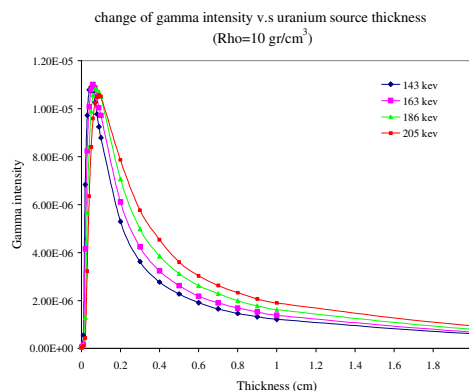
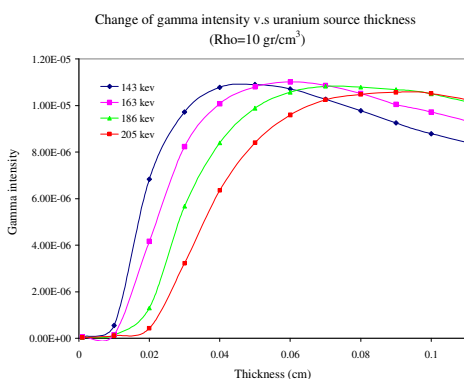


شکل ۱ مسافت آزاد میانگین پرتو گامای ۱۸۶ keV در چگالی های مختلف اورانیوم



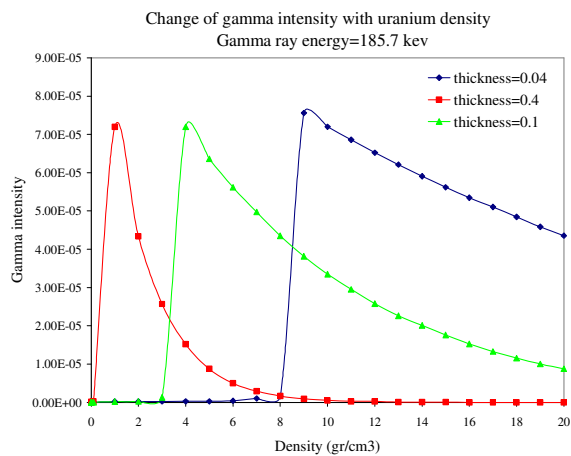
شکل (۱-۲) و (۲-۲) تغییر شدت پرتوهای گامای اورانیوم ۲۳۵ با افزایش ضخامت توده اورانیومی

با چگالی ۲ gr/cm<sup>3</sup>

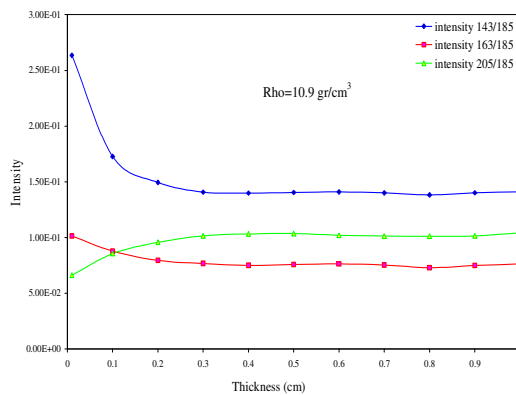
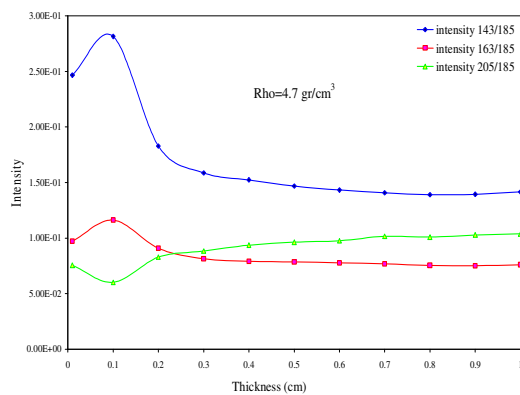
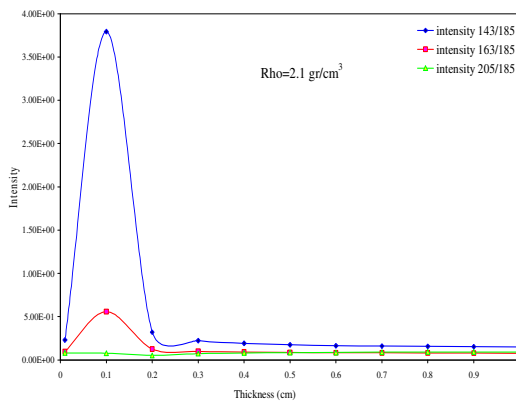
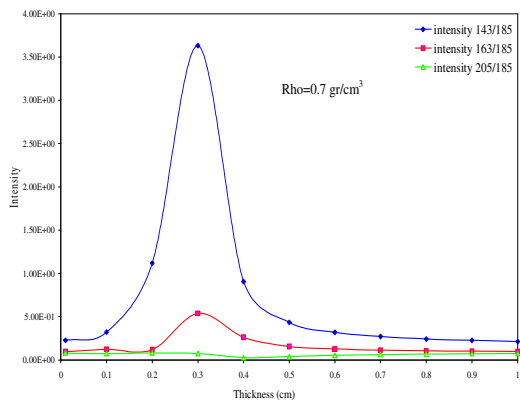


شکل (۱-۳) و (۲-۳) تغییر شدت پرتوهای گامای اورانیوم ۲۳۵ با افزایش ضخامت توده اورانیومی

با چگالی ۱۰ gr/cm<sup>3</sup>



شکل ۴ تاثیر ضخامت و چگالی توده اورانیوم بر پرتوی گامای گذار ۱۸۶ Kev



شکل (۴-۱)،(۴-۲)،(۴-۳) و(۴-۴) تغییر نسبت شدت پرتوهای گامای اورانیوم ۲۳۵ با افزایش ضخامت پسمان در چگالی های مختلف



## بحث و نتیجه گیری

همان گونه که از شکل های (۴-۱) تا (۴-۴) و نتایج جدول ۳ مشخص است در صورتی که شرایط زیر ارضا گردد، اورانیوم موجود در پسمان رقیق است و می توان از اعمال نمودن ضریب خودحفاظی در محاسبات دزیمتری صرف نظر کرد. در این شرایط نتایج بدست آمده به مقادیر واقعی نزدیکترند.

$$0.14 < \frac{143}{186} < 0.24$$

$$0.07 < \frac{163}{186} < 0.11$$

$$0.07 < \frac{205}{186} < 0.1$$

بنابراین از روش DPA می توان برای شناسایی اورانیومی که خودجذبی قابل ملاحظه ای دارد استفاده نمود. البته لازم به ذکر است که فقط در شرایطی می توان از این روش استفاده نمود که به حد ضخامت بی نهایت نرسیده باشیم.

## مراجع

1. Improvements in the Accuracy of the U235 Measurement in Drigg PCM Waste Drums, James Rackham, Tracey Shaw, Thomas Dockray.
2. THE BLEND DOWN MONITORING SYSTEM DEMONSTRATION AT THE PADUCACH GASEOUS DIFFUSION PLANT, Jose March-Leuba, Danny powell, James Sumner, Taner Uckan and Robert Vines.
3. The Calculation of Self Attenuation Factors for Simple Bodies in the Far Field Approximation, Stephen Croft, Debbie Curtis, Meriden.
4. A NEW METHODOLOGY FOR DETERMINING FISSILE MASS IN INDIVIDUAL ACCOUNTING ITEMS WITH THE USE OF GAMMA RAY SPECTROMETRY, Walter R.Kane, Peter E.Vanier, Peter B.Zuhoski.
5. Spectrum Shape Analysis Applied to Radioactive Waste Gamma-Ray Spectroscopy, B.Perot, J.-L.Artaud, B.Chabalier, J.Misraki, and P.Chany.