

محاسبه میزان گاز تورون در سایت‌های فرآوری اورانیوم با استفاده از اندازه گیری

اکتیویته ^{212}Po

عرب، حمید* - عابدی، سجاد - محمودآبادی، امیر - میرزاخانی، محمد رضا - موسوی، سیدحسین

سازمان انرژی اتمی، شرکت سوخت راکتورهای هسته‌ای، صندوق پستی ۱۹۵۷-۸۱۴۶۵

چکیده:

با توجه به خطرات پرتوگیری داخلی در تاسیسات هسته‌ای اندازه‌گیری گازهای رادون و تورون حائز اهمیت است. در این تحقیق میزان گاز تورون در انبارها و تاسیسات مختلف فرآوری اورانیوم مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار با استفاده از دستگاه مونیتورینگ پیوسته هوا، طیف ^{212}Po در دوناحیه مختلف که دارای مقادیر متفاوتی از گاز رادون بودند (میزان رادون 10 Bq/m^3 و 90 Bq/m^3)، اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از میزان اکتیویته ^{212}Po و انجام محاسبات مربوط به زنجیره واپاشی تورون، اکتیویته تورون حاصل گردید. در نهایت نیز مشخص شد که محیط‌های با مقدار رادون متفاوت، مقدار تورون تقریباً یکسانی دارند. در ضمن نتایج محاسبات نشان داد که میزان تورون در تاسیسات فرآوری اورانیوم زیر حد مجاز می‌باشد.

کلمات کلیدی: توریم، تورون، رادون و پولونیوم ^{212}Po

مقدمه:

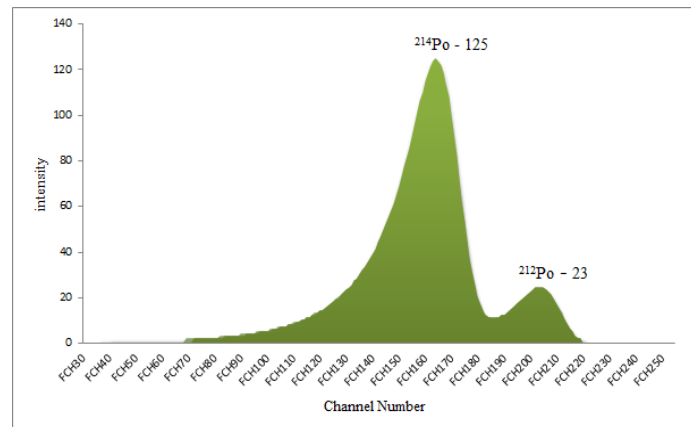
عناصر گازی رادون و تورون از جمله عناصر پرتوزا در معادن و تاسیسات فرآوری اورانیوم می‌باشند که استنشاق مقدار زیاد این گازها منجر به پرتوگیری داخلی با اثرات احتمالی جدی می‌شود. با توجه به وجود عنصر توریم در اورانیوم احتمال وجود دختر هسته‌های آن در محیط‌های حاوی اورانیوم زیاد می‌باشد. لذا محاسبه مقدار گاز تورون که یکی از دختر هسته‌های خطرناک توریم می‌باشد، از اهمیت خاصی برخوردار است [۱، ۲ و ۳].

دستگاههایی که امکان اندازه‌گیری تورون در تاسیسات هسته‌ای را دارد، عبارتند از نمونه بردار نمایشگر آنالیز و مونیتورینگ پیوسته هوا. دستگاه نمونه بردار نمایشگر آنالیز تنها دستگاه در دسترس بود که امکان آنالیز آنالیز رادون و تورون و همچنین نمایش هسته دخترهای رادون و تورون را داشت. ولی متأسفانه به دلیل در دسترس نبودن چشمه کالیبراسیون و تنظیم نبودن انرژی آلفا استفاده از آن مقدور نبود. در این خصوص تنها راه اندازه‌گیری و محاسبه تورون استفاده از دستگاه مونیتورینگ پیوسته هوا بود.

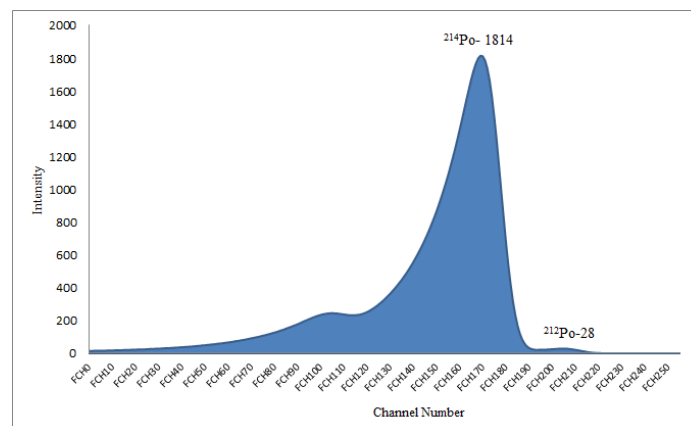
روش کار :

الف) اندازه‌گیری

دستگاه مونیتورینگ پیوسته هوا دارای قابلیت آنالیز هسته دختر ^{212}Po و نمایش اکتیویته آن به صورت آنالین می باشد. با توجه به اینکه ^{212}Po یکی از هسته دخترهای تورون است، از طریق میزان اکتیویته آن می توان با انجام محاسباتی که در ادامه آورده شده است، میزان اکتیویته تورون محیط را تعیین نمود. از این رو ابتدا صحت و درستی کار دستگاه مورد بررسی قرار گرفت. این کار با استفاده از چشمه آمرسیم که دارای انرژی آلفا و کانال مشخص می باشد، انجام گردید. پس از کالیبراسیون دستگاه و تنظیم مقدار فلو در مقدار 35 LPM نمونه برداری در دو ناحیه مختلف، ناحیه (۱) : محیط با میزان رادون 10 Bq/m^3 و ناحیه (۲) : محیط با میزان رادون 90 Bq/m^3 انجام شد. نمودار حاصل از اندازه گیری طیف هسته دخترهای ^{214}Po و ^{212}Po در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است.



شکل (۱) : نمودار اندازه گیری میزان ^{214}Po و ^{212}Po در ناحیه (۱)



شکل (۲) : نمودار اندازه گیری میزان ^{214}Po و ^{212}Po در ناحیه (۲)

با توجه به نمودارهای فوق، اختلاف زیادی بین نتایج اندازه گیری مقادیر ^{214}Po و ^{212}Po مشاهده می گردد. که نشان می دهد در محیط های مختلف قله ^{212}Po تقریباً شدت ثابتی دارد و قله ^{214}Po به نسبت افزایش میزان رادون محیط، افزایش می یابد. در مرحله بعد مقدار اکتیویته لحظه ای ^{212}Po درون نواحی مختلف اندازه گیری و ثبت شد، که به ترتیب در جدول (۱) نشان داده شده است.

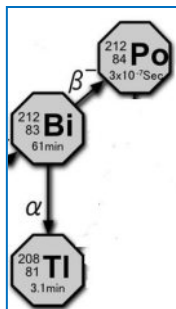
جدول (۱): اکتیویته ^{212}Po در زمانهای مختلف برای نواحی ۱ و ۲

مدت زمان اندازه گیری (ساعت)	اکتیویته ^{212}Po در ناحیه (۱) (Bq/m^3)	اکتیویته ^{212}Po در ناحیه (۲) (Bq/m^3)
18	1.005	0.913
19	0.885	0.926
20	0.952	0.879

ب) محاسبه میزان تورون بر اساس مقدار اکتیویته ^{212}Po

برای اندازه گیری میزان اکتیویته تورون بر اساس مقدار اکتیویته ^{212}Po بایستی کلیه محاسبات مربوط به زنجیره واپاشی انجام شود. برای این کار از اکتیویته ^{212}Po مرحله به مرحله پیش رفته تا به هسته مادر (تورون) برسیم. [۴]

مرحله ۱: در زنجیره انتهایی تورون ^{212}Bi به دو عنصر ^{212}Po و ^{208}Tl واپاشی می کند، که سهم مقدار ^{212}Po حدود ۶۴/۶ درصد می باشد. بر اساس شکل مقابل چون نیمه عمر ^{212}Po برابر 3×10^{-7} s بوده و نیمه عمر ^{212}Bi برابر 61 min می باشد، یعنی نیمه عمر دختر خیلی از نیمه عمر مادر کمتر است در حدود چند ثانیه به حالت تعادل پایا می رسند.



با استفاده از رابطه‌های ذیل می توان مقدار نهایی اکتیویته را بدست آورد:

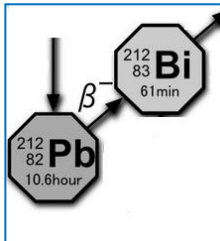
$$\lambda_B N_B = \frac{\lambda_B \lambda_A N_A}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) \quad (۱) \text{ رابطه کلی تعادل واپاشی هسته دختر و مادر}$$

$$\lambda_A N_A = \lambda_B N_B \quad (۲) \text{ رابطه تعادل پایا}$$

می توان از رابطه (۲) که ساده شده رابطه (۱) می باشد، استفاده نمود. بر این اساس مقدار اکتیویته ^{212}Po با مقدار ^{212}Bi برابر میشود ولی چون ^{212}Po درصدی از ^{212}Bi می باشد، باید این نسبت نیز لحاظ شود. از اینرو

داریم؛

$$Q(^{212}\text{Bi}) = \frac{Q(^{212}\text{Po})}{0.646}$$



مرحله ۲- محاسبه میزان ^{212}Pb بر اساس اکتیویته ^{212}Bi

با توجه به شکل مقابل نیمه عمر ^{212}Pb برابر 10.6h بوده که نسبت به نیمه عمر دخترش بیشتر است در اینصورت تعادل گذرا پیش می آید .

مقدار اکتیویته ^{212}Pb با توجه به رابطه (۳) قابل محاسبه است؛

$$Q_B = \frac{\lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A} Q_A$$

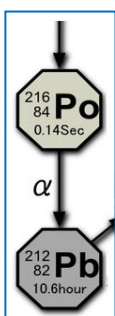
(۳) رابطه تعادل گذرا

بر اساس رابطه (۳) داریم؛

$$Q(^{212}\text{Pb}) = \frac{\lambda(^{212}\text{Pb})}{\lambda(^{212}\text{Pb}) - \lambda(^{212}\text{Bi})} Q(^{212}\text{Bi})$$

$$Q(^{212}\text{Pb}) = 0.904 * Q(^{212}\text{Bi})$$

مرحله ۳- محاسبه میزان ^{216}Po بر اساس اکتیویته ^{212}Pb



با توجه به شکل روبرو نیمه عمر ^{216}Po برابر ۰/۱۴ ثانیه می باشد. چون نیمه عمر دختر خیلی بیشتر از مادر است در این حالت تعادلی وجود ندارد ولی اکتیویته دختر پس از مدتی به مقدار پیشینه می رسد و پس از آن افت پیدا می کند. برای اینکه در طی اندازه گیری به صورت مداوم مکش وجود دارد و تورن های محیط با فیلتر برخورد میکنند، فرض شده مقدار پیشینه هسته دختر وجود دارد.

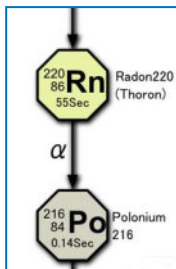
$$\frac{dN_B}{dt} + \lambda_B N_B = \lambda_A N_{A0} e^{-\lambda_A t}$$

(۴) معادله دیفرانسیل بین هسته مادر و دختر

بر اساس رابطه (۴) مقدار اکتیویته دختر قابل محاسبه است، در طرف راست رابطه مقدار A_0 آورده شده است. چون در هر لحظه تورون بر روی فیلتر دستگاه می نشیند یا عبور می کند بنابراین مقدار A_0 ثابت است با حل

معادله دیفرانسیل به این نتیجه می‌رسیم که مقدار اکتیویته مادر و دختر تقریباً یکسان است. بنابراین در این مرحله مقدار اکتیویته مادر و دختر طبق معادله فوق یکسان می‌باشد.
بر این اساس داریم؛

$$Q(^{216}Po) = Q(^{212}Pb)$$



مرحله ۴- محاسبه میزان ^{220}Rn (تورون) بر اساس اکتیویته ^{216}Po

در اینجا نیز مثل مرحله ۱ تعادل پایا اتفاق می‌افتد، بر اساس شکل مقابل چون نیمه عمر ^{216}Po برابر 0.14 ثانیه بوده و نیمه عمر ^{220}Rn برابر 55.5 ثانیه می‌باشد، یعنی نیمه عمر دختر خیلی از نیمه عمر مادر کمتر است و در حدود چند ثانیه به حالت تعادل پایا میرسند.
طبق رابطه ۲ اکتیویته مادر و دختر تقریباً یکسان می‌باشند.

بدین صورت داریم؛

$$Q(^{220}Rn) = Q(^{216}Po)$$

نتایج :

ضریب هر یک از مراحل قبل در جدول (۲) آورده شده است. اگر کلیه ضریبها را در هم ضرب نمایم ضریب نهایی محاسبه می‌شود که مقدار آن برای محاسبه تورون از ^{212}Po برابر $1/413$ می‌باشد.

جدول (۲) : محاسبه میزان اکتیویته دخترهای تورون

مراحل	هسته دختر	هسته مادر	ضریب
1	^{212}Po	^{212}Bi	1.56
2	^{212}Bi	^{212}Pb	0.904
3	^{212}Pb	^{216}Po	1
4	^{216}Po	^{220}Rn	1
ضریب نهایی			1.413

بنابراین برای محاسبه میزان نهایی تورون کافیست ضریب نهایی را در مقدار اکتیویته ^{212}Po ضرب کنیم.
با توجه به مقدار میانگین ^{212}Po (جدول ۱) و مقدار ضریب نهایی، میزان اکتیویته تورون موجود در نواحی ۱ و ۲ به صورت زیر دست می‌آید (جدول ۳).

جدول (۳) : محاسبه میزان اکتیویته تورون

محیط	^{212}Po (Bq/m ³)	ضریب	تورون (Bq/m ³)
ناحیه (۱)	0.945	1.413	1.335
ناحیه (۲)	0.906	1.413	1.280

بحث و نتیجه گیری :

مقدار بدست آمده برای رادون ناحیه (۱) با استفاده از دستگاه رادون سنج تقریباً برابر 8 Bq/m^3 و مقدار تورون حاصل از اندازه گیری و محاسبه حدود 1.34 Bq/m^3 شده است، این بدین معنی است که مقدار تورون تقریباً ۱۷ درصد مقدار رادون می باشد. برای اطمینان از مقدار تورون بدست آمده شدت قله‌های ^{212}Po (هسته دختر تورون) و ^{214}Po (هسته دختر رادون) که در شکل (۱) آورده شده است را بر هم تقسیم می نماییم که تقریباً ۱۸ درصد بدست آمد. درصد تورون نسبت به رادون بدست آمده در هر دو حالت تقریباً یکسان هستند.

همینطور برای ناحیه (۲) مقدار بدست آمده برای رادون با دستگاه رادون سنج برابر 90 Bq/m^3 و مقدار تورون حاصل از اندازه گیری و محاسبه حدود 1.28 Bq/m^3 شده است، این بدین معنی است که مقدار تورون تقریباً ۱/۴ درصد مقدار رادون می باشد. همانند قبل شدت قله‌های ^{212}Po و ^{214}Po که در شکل (۲) آورده شده است را بر هم تقسیم می نماییم عدد حاصل برابر ۱/۵ می باشد. در اینجا نیز درصد نسبت تورون و رادون یکسان شد که نشان از صحت و درستی محاسبه تورون دارد.

با توجه به مقاله "اندازه گیری میزان تورون در معادن توریوم هند" [۵ و ۶] نشان میدهد که میزان تورون در معادن توریوم نزدیک یا بیشتر از میزان رادون است. در مناطقی که خبری از توریوم نیست مقدار تورون خیلی کمتر از رادون می باشد. در نهایت به این نتیجه می رسیم که مقدار تورون در نواحی مختلف فراوری اورانیوم تقریباً یکسان است و بدلیل عدم وجود توریوم اکتیویته آن در حدود ۱ الی ۲ بکرل بر متر مکعب می باشد. ولی مقدار رادون بدلیل منشا تولیدی در واحد های مختلف به خصوص جاهایی که تجمع اورانیوم داریم به شدت تغییر می کند.

مراجع :

- [1] "Measurement of thoron gas in the environment using a Lucas scintillation cell" Lei Zhang, JianWu, QiujuGuo1, and Weihai Zhuo, 2010.
- [2] "Development of an electronic monitor for the determination of individual radon and thoron exposure" Josef Irlinger. 2014
- [3] "Development of a system for online measurement of ^{220}Rn (Thoron) by gamma ray spectrometry method" P.Srinivasan*, D. V. V. Rao, K. Somanathan, P.C.Gupta & D.N.Sharma
- [4] "Introduction to Health Physics" Herman Cember. Pergamon Press, 1983.
- [5] "Environmental thoron (^{220}Rn) : A review T.V. Ramachandran" 19-A/201, Verain Regency Estate, Kalyan _ Shill Road, Dombivli (E) 421 202, Maharashtra, India
- [6] "Development of a system for online measurement of ^{220}Rn (Thoron) by gamma ray spectrometry method P.Srinivasan", D. V. V. Rao, K. Somanathan, P.C.Gupta & D.N.Sharma Radiation Safety Systems Division, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Mumbai-400085.