



Sci. and Tech. note

یادداشت علمی و فنی

سنجش میزان موجودی رادیونوکلئیدهای طبیعی پتاسیوم-۴۰، رادیوم-۲۲۶، توریوم-۲۳۲ و رادیونوکلئید مصنوعی سزیوم-۱۳۷ در برنج محصول استان گیلان

سیدابوالفضل قاسمی^۱، مسعود وهابی مقدم^۲، طاهره حسینی*^۳، محمود صداقتی زاده^۱

۱- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، صندوق پستی:، تهران - ایران

۲- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه گیلان، صندوق پستی:، رشت - ایران

۳- امور حفاظت در برابر اشعه، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۴۴۹۴-۱۴۱۵۵، تهران - ایران

چکیده: در قالب طرح جامع بررسی رادیوآکتیویته محیطی در اکوسیستم شمال البرز، ۱۶ نمونه از انواع مختلف محصول برنج استان گیلان و ۴ نمونه برنج وارداتی، نمونه برداری شده، پس از آماده سازی و عملیات مورد نیاز با استفاده از طیف سنجی گاما با آشکارساز ژرمانیوم فراخالص (HPGe) مورد تجزیه قرار گرفتند. بررسی این نمونه ها از نظر میزان پرتو زایی نخستین بار در ایران انجام گرفت. در این نمونه ها بیشترین میزان پرتو زایی بدست آمده مربوط به رادیونوکلئید پتاسیوم-۴۰ بوده است. مقادیر میانگین اندازه گیری شده رادیونوکلئیدهای طبیعی پتاسیوم-۴۰، رادیوم-۲۲۶، توریوم-۲۳۲ و رادیونوکلئید مصنوعی سزیوم-۱۳۷ به ترتیب برابر با: $(30.23 \pm 5.51) \text{Bq.Kg}^{-1}$ ، $(3.30 \pm 1.75) 10^{-2} \text{Bq.Kg}^{-1}$ ، $(3.78 \pm 1.65) 10^{-2} \text{Bq.Kg}^{-1}$ و $(2.65 \pm 0.99) 10^{-2} \text{Bq.Kg}^{-1}$ به دست آمد که با مقادیر بدست آمده در کشورهای دیگر قابل مقایسه است.

واژه های کلیدی: رادیونوکلئیدهای طبیعی و مصنوعی، طیف سنجی گاما، برنج استان گیلان، آشکارساز ژرمانیوم فراخالص

Natural and Artificial Radionuclides (Potassium-40, Radium-226, Thorium-232 and Cesium-137) Assessment in the Planted Rice Samples in Guilan

A. Ghasemi¹, M. Vahabi Moghaddam², T. Hosseini*³, M. Sedaghati zadeh¹

1- Physics Group, Sciences department, Khaje-Nasir Toosi University, P.O. Box: , Tehran – Iran

2- Physics Group, Sciences Department, Guilan University, P.O. Box: , Rasht – Iran

3- National Radiation Protection Department, AEOI, P.O. Box: 14155-4494, Tehran – Iran

Abstract: In this project, the activity concentration of some radionuclides in rice samples, collected from Guilan province have been analyzed and the results have been compared with rice samples imported from other countries. For this purpose, sixteen types of rice samples from different region of Guilan and four imported rice samples have been collected. The collected samples have been analyzed in order to determine the activity concentration of number of radionuclides such as ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th and ¹³⁷Cs. A gamma spectroscopy system with a high purity germanium detector (HPGe) has been used for the radioactivity measurement. The highest activity concentration in the rice samples belongs to potassium-40. The mean activity of ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th and ¹³⁷Cs were (30.23 ± 5.51) , $(3.30 \pm 1.75) 10^{-2}$, $(3.78 \pm 1.65) 10^{-2}$ and $(2.65 \pm 0.99) 10^{-2} \text{Bq.Kg}^{-1}$, respectively. It can be concluded that all the activity concentrations are comparable with the values that have been, imported for other countries.

Keywords: Natural and Artificial Radionuclides, Gamma Spectroscopy, Rice-Guilan, Germanium Detector

*email: thosseini@aeo.org.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۵/۱/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۶/۳/۱۸

۱- مقدمه

نگهداری آن به مدت سه هفته، با دستگاه طیف‌سنجی گاما مورد شمارش قرار گرفت، اما به علت کم بودن غلظت رادیونوکلیدهای مورد نظر در نمونه، مقدار آنها کمتر از حد آشکارسازی سیستم شناخته شد. در نتیجه به منظور تغلیظ مواد پرتوزا و کاهش حجم، نمونه‌ها تا دمای 300°C سوزانده شدند. به منظور جلوگیری از تصعید سزیوم موجود در نمونه کنترل این دما ضروری است. پس از سوزاندن کامل نمونه‌ها، نمونه‌های سوخته شده، یکنواخت و به درون ظروف مخصوص مارینلی ریخته شدند، سپس توزین نهایی انجام گرفت. به منظور برقراری تعادل پرتوزایی بین هسته مادر (رادیوم-۲۲۶) و دختر (رادون-۲۲۲) نمونه‌ها به مدت ۳ هفته در محفظه کاملاً بسته نگهداری گردیدند و پس از پایان این مدت، با دستگاه طیف‌سنجی گاما به مدت ۲۵۰۰۰۰ ثانیه شمارش شدند.

دستگاه طیف‌سنج گامای بکار رفته حاوی آشکارساز ژرمانیوم فرا خالص (HPGe) ساخت کارخانه CANBERRA است که بازده نسبی آن ۴۰٪ و قدرت تفکیک انرژی آن ۲ کیلو الکترون ولت برای انرژی ۱۳۳۲ کیلو الکترون ولت رادیونوکلید کالت-۶۰ است و سیستم به پردازنده پالس، تجزیه‌کننده چند کاناله (MCA) و کامپیوتر متصل می‌باشد. آشکارساز در یک حفاظ سربی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر قرار دارد و لایه‌ای مسی با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر سطح داخلی حفاظ آشکارساز را پوشانده است. کالیبراسیون انرژی و بازده طیف‌سنجی گاما با استفاده از چشمه مخلوط استاندارد (mixed source) ساخت کشور فرانسه، که حاوی رادیونوکلیدهایی با حداقل انرژی ۸۰ keV مربوط به کادمیوم-۱۰۹ (^{109}Cd) و حداکثر انرژی ۱۸۳۹ keV مربوط به ایتريوم-۸۸ (^{88}Y) می‌باشد و طیف انرژی در بر گیرنده آن بین ۹۰ تا ۱۸۰۰ کیلو الکترون ولت است، انجام پذیرفت.

۳- یافته‌ها و بحث

با استفاده از دستگاه طیف‌سنج گاما، میزان پرتوزایی رادیونوکلیدهای پتاسیوم-۴۰، رادیوم-۲۲۶، توریوم-۲۳۲ و سزیوم-۱۳۷ در نمونه‌های برنج اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که با توجه به نوع هندسه مورد استفاده و مدت شمارش هر نمونه، این دستگاه برای هر رادیونوکلید دارای یک مقدار حداقل پرتوزایی قابل شناسایی

پرتوزایی موجود در طبیعت به دو بخش طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌گردد. پرتوزایی طبیعی ناشی از پرتوهای کیهانی و عناصر پرتوزای موجود در پوسته زمین می‌باشد که از زمان تشکیل این پوسته به وجود آمده است. از جمله رادیونوکلیدهای طبیعی مهم که در پوسته زمین وجود دارند می‌توان به پتاسیوم-۴۰ (^{40}K) و رادیونوکلیدهای موجود در سری فروپاشی اورانیوم-۲۳۸ و توریوم-۲۳۲ اشاره کرد. علاوه بر این عناصر پرتوزای طبیعی، عناصر پرتوزای مصنوعی نیز باعث افزایش پرتوزایی محیط زیست و در نتیجه مواد غذایی می‌شوند. در ضمن اجرای برنامه آزمایش جنک‌افزارهای هسته‌ای که از سال ۱۹۴۵ آغاز و تا سال ۱۹۷۶ به طول انجامید مقادیر زیادی رادیونوکلیدهای مصنوعی در محیط آزاد کرده که در ادامه آن در سال ۱۹۸۶ حادثه اتمی چرنوبیل باعث افزایش این پرتوزایی گردید [۱]. هسته‌های رادیوآکتیو ویژه‌ای نیز از راه‌های مختلف از جمله از راه هوا و مواد غذایی، وارد بدن انسان می‌شوند. در این کار پژوهشی مقادیر موجود رادیونوکلیدهای ^{232}Th ، ^{40}K ، ^{226}Ra و ^{137}Cs نخستین بار در کشور در برنج محصول استان گیلان مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفت.

۲- روش کار

شانزده نمونه از انواع مختلف محصول برنج نواحی مختلف گیلان مرکزی و چهار نمونه برنج وارداتی انتخاب و از هر نمونه مقدار ۴ کیلوگرم جمع‌آوری شد. این نمونه‌ها به ترتیب اولویت مصرف بیشتر مردم انتخاب شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده به منظور تعیین مقدار رادیونوکلیدهای طبیعی ^{232}Th ، ^{226}Ra ، ^{40}K و رادیونوکلید مصنوعی ^{137}Cs مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. تعیین موجودی رادیونوکلیدها با استفاده از روش طیف‌سنجی گاما به وسیله آشکارساز ژرمانیوم فرا خالص (HPGe) صورت گرفت. به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها، ابتدا نمونه‌های برنج به وسیله آسیاب مخصوص به صورت پودر درآمدند. سپس نمونه‌ها به سینی‌های مخصوص منتقل شده و پس از توزین، درون کوره تا دمای 300°C به تدریج سوزانده شدند. لازم به ذکر است که قبل از سوزاندن نمونه‌ها، ابتدا یک نمونه پس از آسیاب کردن، به مارینلی منتقل گردید و پس از توزین و



۳-۴ پرتوزایی سزیوم-۱۳۷ (¹³⁷Cs)

گستره تغییرات پرتوزایی سزیوم-۱۳۷ قابل تشخیص از حداقل $(4.43 \pm 0.49) 10^{-2} \text{Bq.kg}^{-1}$ و حداکثر $(1.20 \pm 3.40) 10^{-2} \text{Bq.kg}^{-1}$ و با میانگین پرتوزایی $(2.65 \pm 0.99) 10^{-2} \text{Bq.kg}^{-1}$ بدست آمد. نمودار ۴ پرتوزایی سزیوم-۱۳۷ را در بیست نمونه برنج نشان می‌دهد.

جدول ۱- اطلاعات طیف‌سنجی گامای رادیونوکلئیدها.

رادیونوکلئید	انرژی (keV)	شدت پیک	مدت شمارش (ثانیه)	بازده	MDA (mBq.kg ⁻¹)
²³² Th	۵۸۳	۰/۳۰۷	۲۵۰۰۰۰	$1/762 * 10^{-2}$	۲۲/۷
²²⁶ Ra	۶۰۹	۰/۴۴۶	۲۵۰۰۰۰	$1/684 * 10^{-2}$	۱۶/۲
¹³⁷ Cs	۶۶۱/۷	۰/۸۵۰	۲۵۰۰۰۰	$1/569 * 10^{-2}$	$1/17 * 10^{-2}$
⁴⁰ K	۱۴۶۱	۰/۱۰۷	۲۵۰۰۰۰	$9/217 * 10^{-3}$	۱۸۲

جدول ۲- کد نمونه، نام نمونه و محل نمونه‌برداری منطقه پوششی گیلان.

کد نمونه	نام نمونه	محل نمونه برداری
Ri-1	سرخ دم	ناحیه لشت نشا
Ri-2	دمسیاه آستانه	آستانه اشرفیه
Ri-3	رمضان	شی جان یا خمام
Ri-4	صدری	دافه چاه یا جعفر اباد
Ri-5	طارم عسگری	نخاله
Ri-6	علی کاظمی	خمام
Ri-7	خزر	سرباز
Ri-8	دمسیاه دودی	شفت
Ri-9	زرد دم	لشت نشا
Ri-10	هاشمی درجه یک	کلاچای
Ri-11	قرب	آستانه اشرفیه
Ri-12	ندا	لشت نشا
Ri-13	ب-۱	-
Ri-14	تایلندی	-
Ri-15	پاکستانی	سراوان
Ri-16	فجر	لولمان و مازندران
Ri-17	سنگ طارم اعلا	کیسم و مازندران
Ri-18	طارم (رمضان)	-
Ri-19	عراقی	-
Ri-20	تایلندی	-

MDA (Minimum Detectable Activity) می‌باشد. در جدول ۱ حداقل میزان پرتوزایی قابل شناسایی رادیونوکلئیدهای موردنظر به وسیله سیستم طیف‌سنجی گاما و برخی مشخصات دیگر آنها، از جمله انرژی پرتو گامای مورد استفاده جهت شناسایی رادیونوکلئیدها، شدت انرژی ساطع شده، بازده و مدت شمارش درج داده شده است [۲].

کد نمونه‌ها و محل جمع‌آوری آنها در منطقه پوششی گیلان در جدول ۲ مندرج است. نتایج حاصل از شمارش نمونه‌های برنج با دستگاه طیف‌سنجی گاما در جدول ۳ درج شده است. در برخی از نمونه‌های اندازه‌گیری شده، مقدار پرتوزایی رادیونوکلئیدهای موردنظر در آنها از حد اشاره شده (MDA) کمتر بوده و دستگاه قادر به شناسایی مقادیر این پرتوزایی نبوده است. این موارد در جدول با عبارت LLD (Lower Limit of Detection) نشان داده شده است.

نتایج پرتوزایی چهار رادیونوکلئید موردنظر در نمونه‌های برنج، بصورت جداگانه در ادامه بررسی خواهند شد.

۳-۱ پرتوزایی پتاسیوم-۴۰ (⁴⁰K)

در نمونه‌های بررسی شده بالاترین میزان پرتوزایی مربوط به رادیونوکلئید ⁴⁰K، با حداقل پرتوزایی $19.2 \pm 0.4 \text{ Bq.kg}^{-1}$ و حداکثر پرتوزایی $41.7 \pm 0.82 \text{ Bq.kg}^{-1}$ و متوسط $30.23 \pm 5.51 \text{ Bq.kg}^{-1}$ تعیین شده است. نمودار ۱ پرتوزایی ⁴⁰K در بیست نمونه برنج را نشان می‌دهد.

۳-۲ پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ (²²⁶Ra)

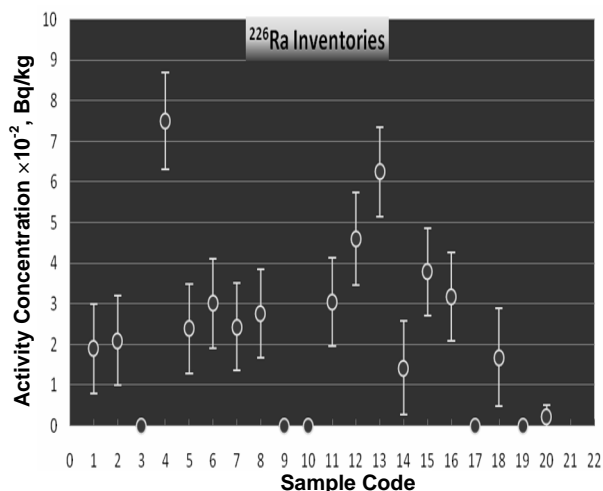
گستره تغییرات پرتوزایی قابل تشخیص رادیوم-۲۲۶ با حداقل $(7.5 \pm 1.2) 10^{-2} \text{Bq.kg}^{-1}$ و حداکثر $(1.43 \pm 1.16) 10^{-2} \text{Bq.kg}^{-1}$ و میانگین پرتوزایی $(3.30 \pm 1.75) 10^{-2} \text{Bq.kg}^{-1}$ بدست آمد. پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ در بیست نمونه برنج در نمودار ۲ نشان داده شده است.

۳-۳ پرتوزایی توریوم-۲۳۲ (²³²Th)

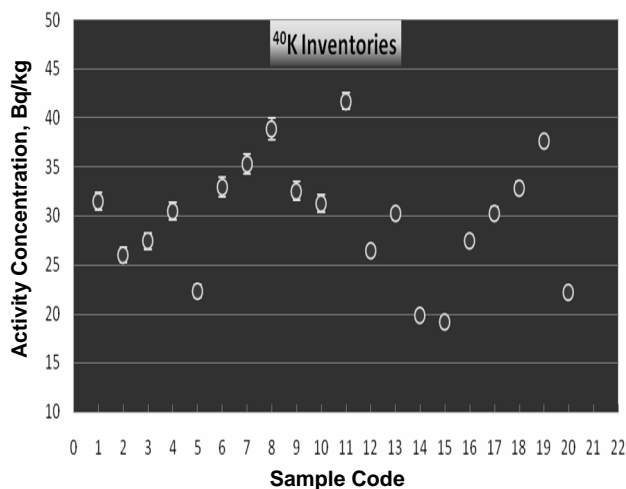
گستره تغییرات پرتوزایی قابل تشخیص توریوم-۲۳۲ با حداقل $(6.99 \pm 2.74) 10^{-2} \text{Bq.kg}^{-1}$ و حداکثر $(2.4 \pm 1.7) 10^{-2} \text{Bq.kg}^{-1}$ با میانگین پرتوزایی $(3.78 \pm 1.65) 10^{-2} \text{Bq.kg}^{-1}$ می‌باشد. نمودار ۳ پرتوزایی توریوم-۲۳۲ در بیست نمونه برنج را نشان می‌دهد.

جدول ۳- میزان موجودی رادیونوکلیدهای طبیعی و مصنوعی در نمونه‌های برنج.

کد نمونه	نوع رادیونوکلئید و میزان غلظت پرتوزایی بر حسب (Bq.kg ⁻¹)			
	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
Ri-1	< LLD	(1.90 ± 1.10)10 ⁻²	31.50 ± 0.9	1.20 × 10 ⁻² ± 3.40 × 10 ⁻³
Ri-2	(2.40 ± 1.8)10 ⁻²	(2.10 ± 1.10)10 ⁻²	26.00 ± 0.8	2.05 × 10 ⁻² ± 4.9 × 10 ⁻³
Ri-3	< LLD	< LLD	27.40 ± 0.8	< LLD
Ri-4	(3.60 ± 1.8)10 ⁻²	(7.50 ± 1.20)10 ⁻²	30.50 ± 0.9	< LLD
Ri-5	(2.40 ± 1.70) × 10 ⁻²	(2.40 ± 1.10)10 ⁻²	22.30 ± 0.7	2.90 × 10 ⁻¹ ± 9.8 × 10 ⁻³
Ri-6	< LLD	(3.02 ± 1.10)10 ⁻²	32.90 ± 1	< LLD
Ri-7	< LLD	(2.44 ± 1.08)10 ⁻²	35.30 ± 1.03	2.54 × 10 ⁻² ± 4.83 × 10 ⁻³
Ri-8	(2.57 ± 1.64)10 ⁻²	(2.77 ± 1.09)10 ⁻²	38.90 ± 1.13	3.23 × 10 ⁻² ± 4.94 × 10 ⁻³
Ri-9	(3.90 ± 1.62)10 ⁻²	< LLD	32.50 ± 0.95	< LLD
Ri-10	(3.92 ± 1.58)10 ⁻²	< LLD	31.30 ± 0.91	< LLD
Ri-11	< LLD	(3.05 ± 1.09)10 ⁻²	41.70 ± 0.82	2.17 × 10 ⁻² ± 5.54 × 10 ⁻³
Ri-12	(6.40 ± 1.75)10 ⁻²	4.60 × 10 ⁻² ± 1.14 × 10 ⁻²	26.50 ± 0.5	< LLD
Ri-13	< LLD	6.25 × 10 ⁻² ± 1.1 × 10 ⁻²	30.20 ± 0.6	3.37 × 10 ⁻² ± 0.62 × 10 ⁻³
Ri-14	< LLD	1.43 × 10 ⁻² ± 1.16 × 10 ⁻²	19.90 ± 0.41	4.43 × 10 ⁻² ± 0.49 × 10 ⁻²
Ri-15	(2.90 ± 1.71)10 ⁻²	3.79 × 10 ⁻² ± 1.08 × 10 ⁻²	19.20 ± 0.4	2.19 × 10 ⁻² ± 0.33 × 10 ⁻²
Ri-16	(2.70 ± 1.63)10 ⁻²	3.19 × 10 ⁻² ± 1.09 × 10 ⁻²	27.50 ± 0.55	< LLD
Ri-17	< LLD	< LLD	30.30 ± 0.61	< LLD
Ri-18	(6.99 ± 2.74)10 ⁻²	(1.69 ± 1.20)10 ⁻²	32.80 ± 0.66	< LLD
Ri-19	< LLD	< LLD	37.60 ± 0.07	< LLD
Ri-20	0.20 ± 0.06	0.22 ± 0.06	22.20 ± 0.89	0.08 ± 0.02
متوسط	(3.78 ± 1.65)10 ⁻²	(3.30 ± 1.75)10 ⁻²	30.23 ± 5.51	(2.65 ± 0.99)10 ⁻²



نمودار ۲- غلظت پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ (²²⁶Ra) در نمونه‌های برنج استان گیلان.



نمودار ۱- غلظت پرتوزایی پتاسیوم-۴۰ (⁴⁰K) در نمونه‌های برنج استان گیلان.



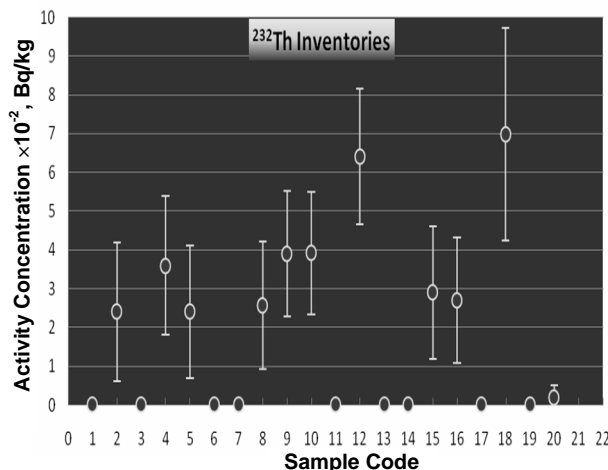
جدول ۴- غلظت رادیونوکلئیدهای موردنظر در برنج، گزارش شده در کشورهای مختلف ($Bq.kg^{-1}$).

مرجع	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	نام کشور
۳	۰/۲۶	۱۵	۰/۰۰۶	-	هنگ کنگ
۴	-	-	۰/۰۰۷	۱۰ ^{-۴}	امریکا
۵	<۰/۰۴	۱۴/۷	<۰/۱۱	-	برزیل
۶	-	-	<۳/۷×۱۰ ^{-۳}	-	انگلستان
۷	-	-	-	۴/۶×۱۰ ^{-۴}	ژاپن
۸	<۰/۰۵	-	-	-	ویتنام

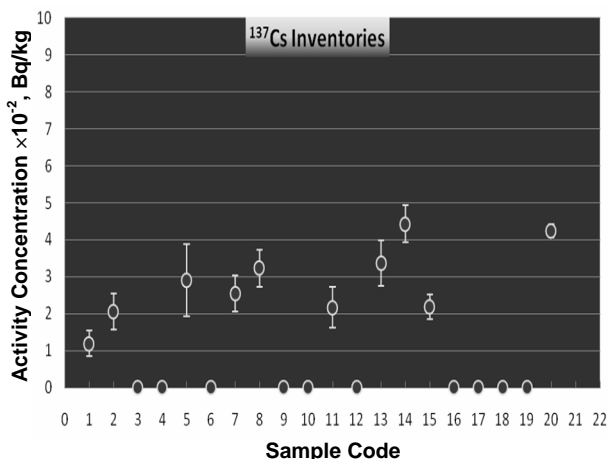
جدول ۵- میزان پرتوایی رادیوم-۲۲۶ و توریم-۲۳۲ در غلات (Grain Products).

نام کشور	^{232}Th	^{226}Ra
ایالات متحده امریکا	۰/۱-۲/۸	۷-۱۰۰
چین	۱۳	۱۷
ژاپن	۱/۲	۱۴
آلمان	-	۲۰-۲۹۰۰
لهستان	۲/۰-۲۱	۸۰-۱۱۰
رومانی	۱/۶-۳۳	۶/۱-۸۵
انگلستان	۱۲	۰/۷-۵۲۰۰
مقادیر مرجع	۳	۸۰

(جدولهای ۴ و ۵)، چنین نتیجه می‌گیریم که مقادیر رادیوم-۲۲۶ در نمونه‌های تحت بررسی از مقادیر اندازه‌گیری شده در دیگر کشورها و همچنین مقادیر مرجع که توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی گزارش گردیده است کمتر می‌باشد [۹]. در حالی که مقدار توریم-۲۳۲ در نمونه‌های مورد بررسی از مقادیر گزارش شده بیشتر است. در مورد ویژه هسته سزیوم-۱۳۷، چون این «ویژه هسته» مصنوعی بوده و طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) مقدار مجاز و استاندارد این «ویژه هسته» در مواد غذایی در زمان سوانح هسته‌ای $1000Bq.kg^{-1}$ است، در مواقع عادی مقدار مجاز آن در مواد غذایی یک دهم مقدار فوق یعنی $100Bq.kg^{-1}$ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به حداکثر مقدار مجاز برای سزیوم-۱۳۷ در مواد غذایی، غلظت رادیونوکلئید فوق در نمونه‌های برنج مورد آزمایش، بسیار کم و قابل چشم‌پوشی می‌باشد (متوسط $26.5mBq.kg^{-1}$). مقدار متوسط پتاسیوم در نمونه‌های برنج برابر با $30.2Bq.kg^{-1}$ بدست آمد که در مقایسه با مقادیر گزارش شده (جدولهای ۴ و ۵) بیشتر است.



نمودار ۳- غلظت پرتوایی توریم-۲۳۲ (^{232}Th) در نمونه‌های برنج استان گیلان.



نمودار ۴- پراکندگی پرتوایی سزیوم-۱۳۷ در نمونه‌های برنج.

۵-۳ پرتوایی رادیونوکلئیدهای موردنظر در نمونه‌های برنج در کشورهای مختلف

غلظت رادیونوکلئیدهای طبیعی پتاسیوم-۴۰، رادیوم-۲۲۶، توریم-۲۳۲ و رادیونوکلئید مصنوعی سزیوم-۱۳۷ در نمونه‌هایی که در کشورهای مختلف اندازه‌گیری شده‌اند در جدول ۴ نمایش داده شده است. همچنین مقدار پرتوایی رادیوم-۲۲۶ و توریم-۲۳۲ که در غلات (Grain Products) در کشورهای مختلف اندازه‌گیری شده‌اند در جدول ۵ مندرج است.

۴- نتیجه‌گیری

از مقایسه پرتوایی متوسط رادیوم-۲۲۶ و توریم-۲۳۲ در برنج‌های اندازه‌گیری شده که به ترتیب ۳۳ و ۳۷ میلی‌بکرل در کیلوگرم بدست آمد، با مقادیر گزارش شده در دیگر کشورها

References:

1. سولفا نیدس. نیکلاس، "اندازه گیری و آشکارسازی تابش های هسته ای،" ترجمه ر. کوهی و م. هادی زاده یزدی، کتابستان مشهد (۱۳۷۱).
2. Principles of Radiation Protection, IAEA Basic Medical Radiation Safety Training Package, (2001).
3. K.N. Ya and S.Y. Mao, "Assessment of radionuclide contents in food in Hong Kong," Health Phys. **77** (6): 686-696 (1999).
4. I.M. Fisenne, P.M. Perry, K.M. Decker, H.W. Keller, "The daily intake of $^{234,235,238}\text{U}$, $^{228,230,232}\text{Th}$ and $^{226,228}\text{Ra}$ by New York city residents," Health Phys. **53** (4): 357-363 (1987).
5. L. Venturini, and G.A.A. Sordi, "Radioactivity in and committed effective dose from some Brazilian foodstuffs," Health Phys. **76** (3): 311-313 (1999).
6. Department of the environment: HMIP-Commissioned research Natural radionuclide in environmental media, DoE Report NO: DoE/HMIP/RR/93/063 (1993).
7. K. Shiraishi, K. Tagami, Y. Muramastu, M. Yamamoto, "Contributions of 18 food categories to intake of ^{232}Th and ^{238}U in Japan," Health Phys. **78** (1): 28-36 (2000).
8. The Vietnam agency for radiation and nuclear safety and control, LC No. FE 84000449 (2005).
9. UNSCEAR, "Sources & effects of ionizing radiation, united Nations, scientific committee on the effects of atomic radiation," New York (2000).