

## سنجش موجودی رادیونوکلئیدهای طبیعی پتاسیم-۴۰، رادیوم-۲۲۶، تورיום-۲۳۲

### و رادیونوکلئید مصنوعی سزیم-۱۳۷ در برنج

سید ابوالفضل قاسمی<sup>۱</sup>، مسعود وهابی مقدم<sup>۲</sup>، طاهره حسینی<sup>۳</sup> و محمود صداقتی زاده<sup>۱</sup>

۱. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. دانشگاه گیلان

۳. امور حفاظت در برابر اشعه کشور

thosseini@aeoi.org.ir

#### چکیده:

بسیار نمونه از انواع محصول برنج استان گیلان با استفاده از روش طیف سنجی گاما توسط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص (HPGe) مورد تجزیه قرار گرفتند. در این نمونه‌ها بیشترین میزان پرتوزایی بدست آمده مربوط به رادیونوکلئید پتاسیم-۴۰ بوده است. مقادیر میانگین اندازه‌گیری شده رادیونوکلئیدهای طبیعی پتاسیم-۴۰، رادیوم-۲۲۶، تورיום-۲۳۲ و رادیونوکلئید مصنوعی سزیم-۱۳۷ به ترتیب برابر با:  $(29.83 \pm 6.11) \text{ Bq kg}^{-1}$ ،  $(2.68 \pm 1.74) \times 10^{-2} \text{ Bq kg}^{-1}$ ،  $(3.03 \pm 1.37) \times 10^{-2} \text{ Bq kg}^{-1}$  و  $(2.00 \pm 1.10) \times 10^{-2} \text{ Bq kg}^{-1}$  به دست آمد که با مقادیر بدست آمده در سایر کشورها مورد مقایسه واقع شده است.

کلید واژه: رادیواکتیویته محیطی، برنج، استان گیلان، رادیونوکلئیدهای طبیعی و مصنوعی، طیف سنجی گاما.

#### ۱. مقدمه

به طور کلی پرتوزایی موجود در محیط به دو بخش طبیعی و مصنوعی تقسیم‌بندی می‌گردد. پرتوزایی طبیعی نیز خود شامل دوزیر گروه می‌باشد، دسته اول پرتوزایی طبیعی ناشی از عناصر رادیواکتیو موجود در پوسته زمین است که از زمان تشکیل پوسته زمین وجود داشته‌اند و دسته دوم پرتوزایی طبیعی ناشی از پرتوهای کیهانی است. از جمله رادیونوکلئیدهای طبیعی مهم که در پوسته زمین وجود دارند می‌توان به پتاسیم-۴۰ ( $^{40}\text{K}$ ) و رادیونوکلئیدهای موجود در سری فروپاشی اورانیم-۲۳۸ ( $^{238}\text{U}$ ) و تورיום-۲۳۲ ( $^{232}\text{Th}$ ) اشاره نمود. شایان ذکر است علاوه بر عناصر پرتوزای طبیعی ذکر شده، عناصر پرتوزای مصنوعی نیز باعث افزایش پرتوزایی محیط زیست و در نتیجه مواد غذایی می‌شود. برنامه آزمایش جنگ افزارهای هسته‌ای که از سال ۱۹۴۵ آغاز و تا سال ۱۹۷۶ به طول انجامید مقادیر زیادی رادیونوکلئیدهای مصنوعی (از

جمله سزیم- $^{137}\text{Cs}$  و استرانسیوم- $^{90}\text{Sr}$ ) را در محیط آزاد نمود که در ادامه آن در سال ۱۹۸۶ حادثه اتمی چرنوبیل باعث افزایش این پرتوزایی گردید [۱]. ویژه هسته‌های رادیواکتیو از طرق مختلف از جمله از طریق هوا و مواد غذایی به طور اهم، وارد بدن انسان می‌شوند. در این کار تحقیقاتی مقادیر موجودی رادیو نوکلیدهای  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{40}\text{K}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{137}\text{Cs}$  در برنج محصول استان گیلان مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفت.

## ۲. روش کار

بسیست نمونه از انواع محصولات برنج نواحی مختلف گیلان انتخاب و از هر نمونه به میزان ۴ کیلوگرم جمع آوری گردید. این نمونه‌ها به ترتیب اولویت مصرف غالب مردم انتخاب شدند. نمونه‌های جمع آوری شده به منظور تعیین موجودی رادیونوکلیدهای طبیعی  $^{40}\text{K}$ ،  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و رادیونوکلید مصنوعی  $^{137}\text{Cs}$  مورد بررسی و تجزیه قرار گرفتند. تعیین موجودی رادیونوکلیدها با استفاده از روش طیف سنجی گاما توسط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص (HPGe) صورت پذیرفت.

به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها، ابتدا نمونه‌های برنج چندین بار توسط آسیاب مخصوص، به صورت پودر در آمدند. سپس نمونه‌ها به سینی‌های مخصوص منتقل شده و پس از توزین، درون کوره تا دمای  $300^{\circ}\text{C}$  به طور تدریجی سوزانده شدند. شایان ذکر است که در ابتدا قبل از سوزاندن نمونه‌ها، یک نمونه پس از آسیاب کردن، به محفظه مارینلی منتقل گردید و پس از توزین و محبوس بودن به مدت سه هفته، با سیستم طیف سنجی گاما مورد شمارش قرار گرفت اما بدلیل 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  $300^{\circ}\text{C}$  سوزانده شدند. لازم به ذکر است که نباید نمونه‌ها را از دمای فوق بیشتر حرارت داد چون در آن صورت سزیم موجود در نمونه تصعید شده و از آن خارج می‌گردد. پس از سوزاندن کامل نمونه‌ها، نمونه‌های سوخته شده، یکنواخت شده و به داخل ظروف مخصوص مارینلی منتقل گردید و سپس توزین نهایی انجام شد. به منظور برقراری تعادل پرتوزایی ما بین هسته مادر (رادیوم- $^{226}$ ) و دختر (رادون- $^{222}$ ) نمونه‌ها به مدت ۳ هفته به صورت کاملاً بسته نگهداری گردیدند. پس از این مدت، نمونه‌ها با سیستم طیف سنجی گاما به مدت ۲۵۰۰۰۰ ثانیه مورد شمارش قرار گرفتند.

سیستم طیف سنجی گامای مورد استفاده شامل آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص (HPGe) ساخت کارخانه CANBERRA می‌باشد. راندمان نسبی آشکارساز ۴۰٪ و قدرت تفکیک انرژی آن برابر ۲ کیلو الکترون ولت برای گامای بالانرژی ۱۳۳۲ کیلو الکترون ولت رادیونوکلید کبالت-۶۰ است و سیستم به پردازنده پالس، تجزیه کننده بس کانال (MCA) و رایانه متصل می‌باشد. آشکارساز در یک حفاظ سربی به

ضخامت ۱۰ سانتی متر قرار دارد و لایه‌ای مسی با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر سطح داخلی حفاظ آشکارساز را پوشانده است. کالیبراسیون انرژی و بازده سیستم طیف سنجی گاما با استفاده از چشمه استاندارد که طیف انرژی بین ۹۰ تا ۱۸۰۰ کیلو الکترون ولت را دربر می‌گیرد انجام شده است.

در تعیین میزان اکتیویته رادیونوکلئیدهای مورد نظر، با توجه به ژئومتری مورد استفاده و زمان شمارش هر نمونه، حداقل پرتو زایی قابل شناسایی (MDA (Minimum Detectable Activity) برای هر رادیونوکلئید مطرح می‌باشد. در جدول (۱) حداقل میزان پرتو زایی قابل شناسایی رادیونوکلئیدهای مورد سنجش توسط سیستم طیف سنجی گاما و برخی مشخصات دیگر آنها از قبیل انرژی پرتوی گامای مورد استفاده جهت تجزیه، شدت انرژی ساطع شده [۲]، بازده و زمان شمارش نشان داده شده است.

جدول (۱): ویژگی‌های طیف سنجی گاما برای رادیونوکلئیدهای مورد سنجش.

رادیونوکلئید	انرژی (keV)	شدت	میزان شمارش در ثانیه	بازده	MDA ( $Bq\ kg^{-1}$ )
<sup>232</sup> Th	۵۸۳	۰.۳۰۷	۲۵۰۰۰۰	$1.754 \times 10^{-2}$	$2.29 \times 10^{-2}$
<sup>226</sup> Ra	۶۰۹	۰.۴۴۶	۲۵۰۰۰۰	$1.686 \times 10^{-2}$	$1.25 \times 10^{-2}$
<sup>137</sup> Cs	۶۶۲	۰.۸۵۰	۲۵۰۰۰۰	$1.569 \times 10^{-2}$	$1.17 \times 10^{-2}$
<sup>40</sup> K	۱۴۶۱	۰.۱۰۷	۲۵۰۰۰۰	$9.217 \times 10^{-3}$	$1.82 \times 10^{-1}$

### ۳. یافته‌ها

نتایج حاصل از شمارش نمونه‌های برنج با سیستم طیف سنجی گاما در جدول (۲) آورده شده است. در برخی از نمونه‌های اندازه‌گیری شده مقدار پرتو زایی رادیونوکلئیدهای مورد نظر در آنها از حد اشاره شده (MDA) کمتر بوده و سیستم قادر به شناسایی آنها نگردیده است. این موارد با عبارت "MDA" در جدول (۲) نمایش داده شده است. نتایج پرتو زایی این رادیونوکلئیدها در نمونه‌های برنج را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

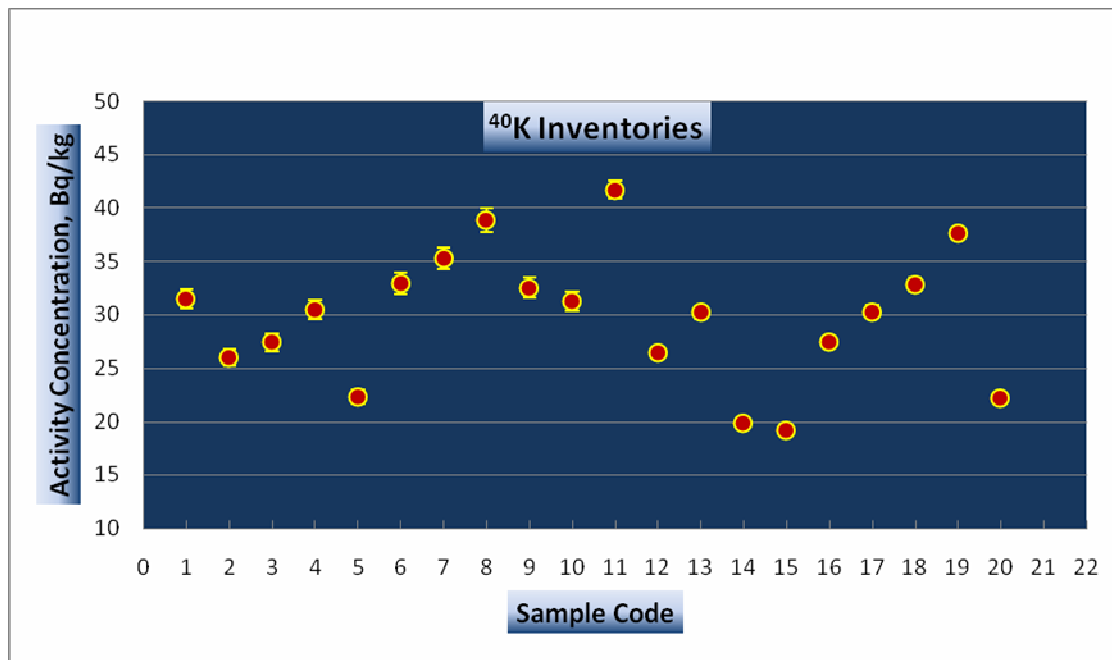
- **پرتوزایی پتاسیم-۴۰:** در نمونه های بررسی شده بالاترین میزان پرتوزایی مربوط به رادیونوکلئید  $^{40}\text{K}$  ، با حداقل پرتوزایی  $1 \text{ Bq kg}^{-1} \pm 0.4$  و حداکثر پرتوزایی  $1 \text{ Bq kg}^{-1} \pm 0.4$  و میانگین پرتوزایی  $1 \text{ Bq kg}^{-1} \pm 0.87$  و میانگین  $1 \text{ Bq kg}^{-1} \pm 6.5$   $29.83$  تعیین گردید. نمودار (۱) پراکندگی پرتوزایی پتاسیم-۴۰ در بیست نمونه برنج را نشان می دهد.
- **پرتوزایی رادیوم-۲۲۶:** گستره تغییرات پرتوزایی قابل تشخیص  $^{226}\text{Ra}$  با حداقل کمتر از  $(1.25 \times 10^{-2} \text{ Bq kg}^{-1})$  MDA تا حداکثر  $(7.5 \pm 1.2) 10^{-2} \text{ Bq.kg}^{-1}$  و میانگین پرتوزایی  $(2.68 \pm 1.74) 10^{-2} \text{ Bq kg}^{-1}$  بدست آمد. پراکندگی پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ در بیست نمونه برنج در نمودار (۲) نشان داده شده است.
- **پرتوزایی توریوم-۲۳۲:** گستره تغییرات پرتوزایی قابل تشخیص  $^{232}\text{Ra}$  با حداقل کمتر از  $(2.29 \times 10^{-2} \text{ Bq kg}^{-1})$  MDA تا حداکثر  $(6.99 \pm 2.74) 10^{-2} \text{ Bq.kg}^{-1}$  با میانگین پرتوزایی  $(3.03 \pm 1.37) 10^{-2} \text{ Bq kg}^{-1}$  بدست آمده است. نمودار (۳) پراکندگی پرتوزایی توریوم-۲۳۲ در بیست نمونه برنج را نشان می دهد.
- **پرتوزایی سزیم-۱۳۷:** گستره تغییرات پرتوزایی قابل تشخیص  $^{137}\text{Cs}$  از حداقل کمتر از  $(1.17 \times 10^{-2} \text{ Bq kg}^{-1})$  MDA تا حداکثر  $(4.43 \pm 0.49) 10^{-2} \text{ Bq.kg}^{-1}$  و با میانگین پرتوزایی  $(2.00 \pm 1.10) 10^{-2} \text{ Bq kg}^{-1}$  بدست آمده است. نمودار (۴) پراکندگی پرتوزایی سزیم-۱۳۷ را در بیست نمونه برنج نشان می دهد.

### ۱،۳. پرتوزایی رادیونوکلئیدهای مورد نظر در نمونه های برنج و غلات در کشورهای مختلف

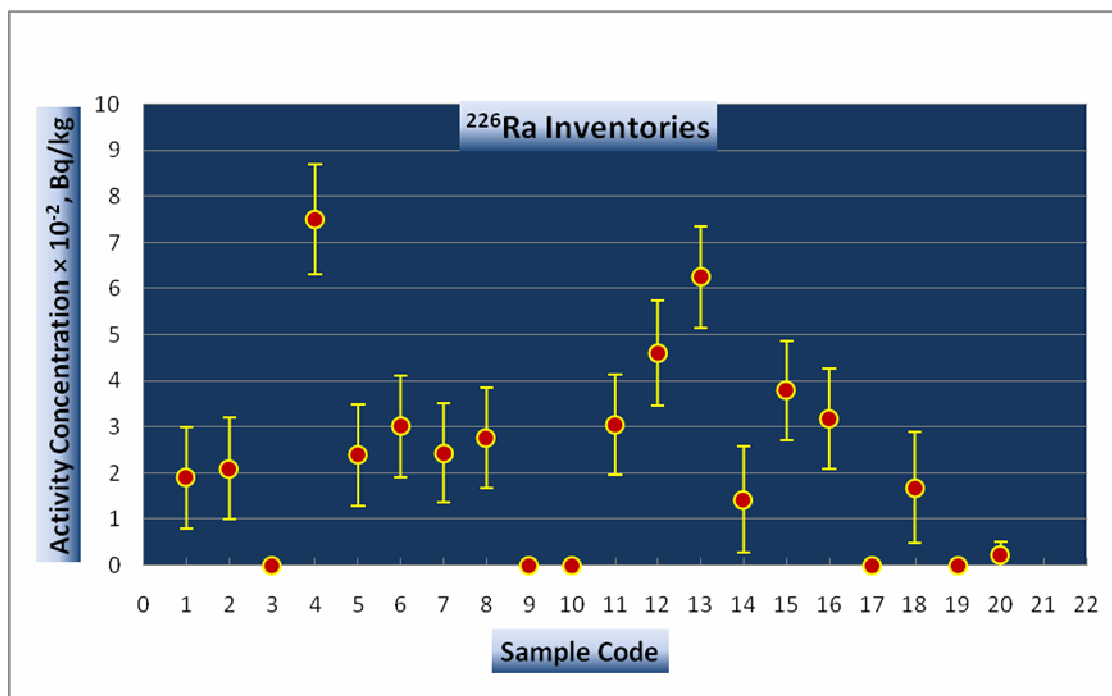
نتایج اندازه گیری موجودی رادیونوکلئیدهای طبیعی پتاسیم-۴۰ ، رادیوم-۲۲۶ ، توریوم-۲۳۲ و رادیونوکلئید مصنوعی سزیم-۱۳۷، در برنج کشورهای مختلف، در جدول (۳)، و میزان سنجش شده پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ و توریوم-۲۳۲ در غلات کشورهای مختلف، در جدول (۴) انعکاس یافته است.

جدول (۲): موجودی رادیونوکلیدهای طبیعی و مصنوعی در نمونه های برنج.

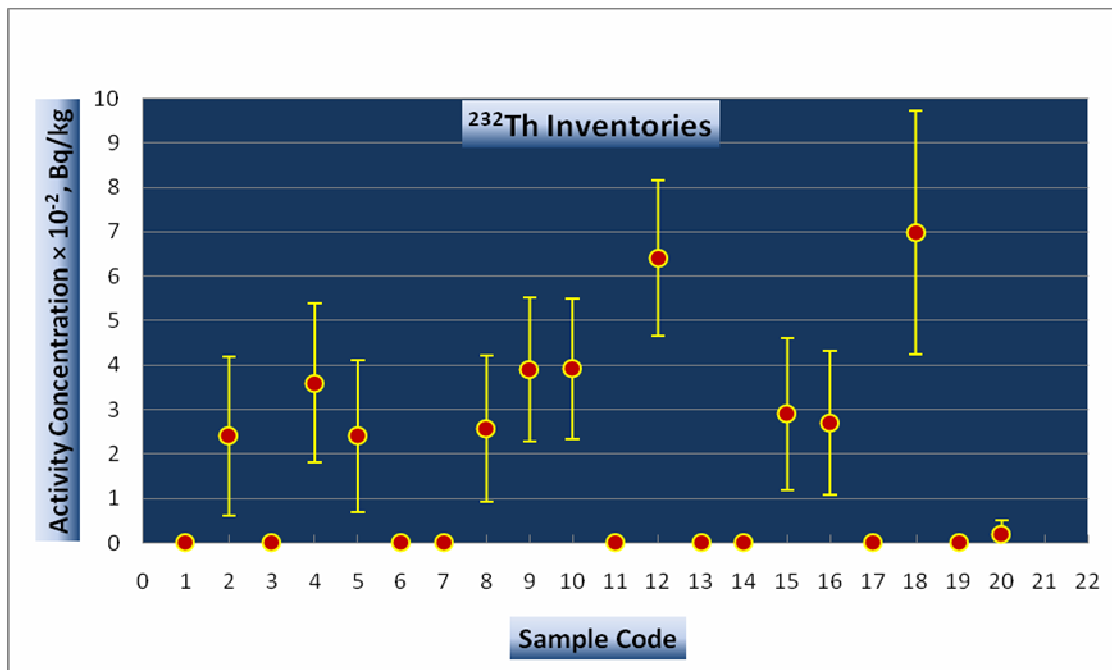
کد نمونه	نوع رادیونوکلئید و میزان غلظت پرتوزایی برحسب $\text{Bq kg}^{-1}$			
	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$
Ri-1	< MDA	$(1.90 \pm 1.10)10^{-2}$	$31.50 \pm 0.9$	$1.20 \times 10^{-2} \pm 3.40 \times 10^{-3}$
Ri-2	$(2.40 \pm 1.8)10^{-2}$	$(2.10 \pm 1.10)10^{-2}$	$26.00 \pm 0.8$	$2.05 \times 10^{-2} \pm 4.9 \times 10^{-3}$
Ri-3	< MDA	< MDA	$27.40 \pm 0.8$	< MDA
Ri-4	$(3.60 \pm 1.8)10^{-2}$	$(7.50 \pm 1.20)10^{-2}$	$30.50 \pm 0.9$	< MDA
Ri-5	$(2.40 \pm 1.70) \times 10^{-2}$	$(2.40 \pm 1.10)10^{-2}$	$22.30 \pm 0.7$	$2.90 \times 10^{-2} \pm 9.8 \times 10^{-3}$
Ri-6	< MDA	$(3.02 \pm 1.10)10^{-2}$	$32.90 \pm 1$	< MDA
Ri-7	< MDA	$(2.44 \pm 1.08)10^{-2}$	$35.30 \pm 1.03$	$2.54 \times 10^{-2} \pm 4.83 \times 10^{-3}$
Ri-8	$(2.57 \pm 1.64)10^{-2}$	$(2.77 \pm 1.09)10^{-2}$	$38.90 \pm 1.13$	$3.23 \times 10^{-2} \pm 4.94 \times 10^{-3}$
Ri-9	$(3.90 \pm 1.62)10^{-2}$	< MDA	$32.50 \pm 0.95$	< MDA
Ri-10	$(3.92 \pm 1.58)10^{-2}$	< MDA	$31.30 \pm 0.91$	< MDA
Ri-11	< MDA	$(3.05 \pm 1.09)10^{-2}$	$41.70 \pm 0.82$	$2.17 \times 10^{-2} \pm 5.54 \times 10^{-3}$
Ri-12	$(6.40 \pm 1.75)10^{-2}$	$4.60 \times 10^{-2} \pm 1.14 \times 10^{-2}$	$26.50 \pm 0.5$	< MDA
Ri-13	< MDA	$6.25 \times 10^{-2} \pm 1.1 \times 10^{-2}$	$30.20 \pm 0.6$	$3.37 \times 10^{-2} \pm 0.62 \times 10^{-2}$
Ri-14	< MDA	$1.43 \times 10^{-2} \pm 1.16 \times 10^{-2}$	$19.90 \pm 0.41$	$4.43 \times 10^{-2} \pm 0.49 \times 10^{-2}$
Ri-15	$(2.90 \pm 1.71)10^{-2}$	$3.79 \times 10^{-2} \pm 1.08 \times 10^{-2}$	$19.20 \pm 0.4$	$2.19 \times 10^{-2} \pm 0.33 \times 10^{-2}$
Ri-16	$(2.70 \pm 1.63)10^{-2}$	$3.19 \times 10^{-2} \pm 1.09 \times 10^{-2}$	$27.50 \pm 0.55$	< MDA
Ri-17	< MDA	< MDA	$30.30 \pm 0.61$	< MDA
Ri-18	$(6.99 \pm 2.74)10^{-2}$	$(1.69 \pm 1.20)10^{-2}$	$32.80 \pm 0.66$	< MDA
Ri-19	< MDA	< MDA	$37.60 \pm 0.07$	< MDA
Ri-20	< MDA	< MDA	$22.20 \pm 0.04$	$4.25 \times 10^{-2} \pm 0.18 \times 10^{-2}$
میانگین	$(3.03 \pm 1.37)10^{-2}$	$(2.68 \pm 1.74) 10^{-2}$	<b>29.83 ± 6.11</b>	$(2.00 \pm 1.10) 10^{-2}$



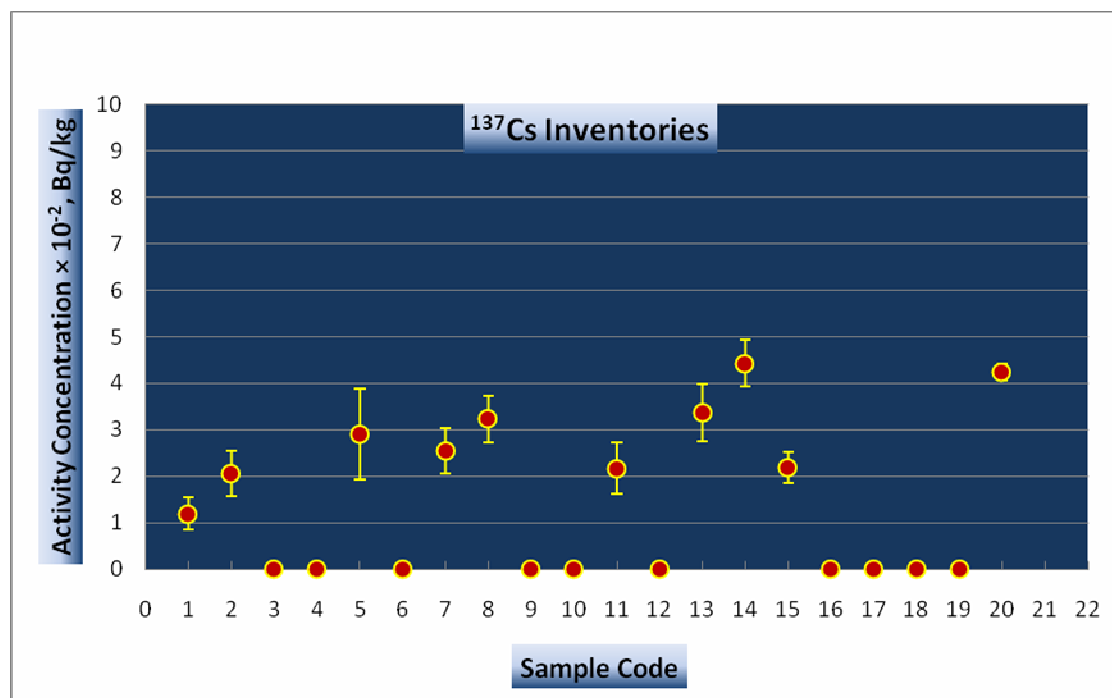
نمودار (۱): پراکندگی پرتوزایی پتاسیم-۴۰ در نمونه‌های برنج.



نمودار (۲): پراکندگی پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ در نمونه‌های برنج.



نمودار (۳): پراکنندگی پرتوزایی توریم-۲۳۲ در نمونه‌های برنج.



نمودار (۴): پراکنندگی پرتوزایی سزیم-۱۳۷ در نمونه‌های برنج.

جدول ۳. غلظت رادیونوکلئیدهای موردنظر در برنج، گزارش شده در کشورهای مختلف بر حسب  $\text{Bq kg}^{-1}$

نام کشور	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	مرجع
هنگ کنگ	-	0.006	۱۵	0.26	[3]
امریکا	$۱۰^{-۴}$	۰.۰۰۷	-	-	[4]
برزیل	-	< ۰.۱۱	۱۴.۷	< ۰.۰۴	[5]
انگلستان	-	$< 3.7 \times 10^{-3} - 0.067$	-	-	[6]
ژاپن	$4.6 \times 10^{-4}$	-	-	-	[7]
ویتنام	-	-	-	< ۰.۰۵	[8]

جدول ۴. موجودی گزارش شده رادیوم-۲۲۶، تورיום-۲۳۲، و ترازهای مرجع در غلات بر حسب  $\text{mBq kg}^{-1}$  (UNSCEAR, 9).

نام کشور	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$
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	1.6 - 33	30 - 90
انگلستان	۱۲	۰.۷ - ۵۲۰۰
تراز مرجع	۳	۸۰

### ۳. نتیجه گیری

با مقایسه میانگین پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ و تورיום-۲۳۲ در برنج های اندازه گیری شده \_\_ بترتیب برابر با ۲۷ و ۳۰ میلی بکرل در کیلوگرم \_\_ با مقادیر گزارش شده در دیگر کشورها (جدول ۳ و ۴)، چنین نتیجه می گیریم که مقادیر رادیوم-۲۲۶ در نمونه های تحت بررسی، در گستره ی مقادیر اندازه گیری شده در دیگر کشورها، کمتر از غالب مقادیر گزارش شده در مورد غلات به طور کلی، و کمتر از تراز مرجع کمیته علمی آثار تابش اتمی وابسته به سازمان ملل متحد (UNSCEAR) است [۹]. در حالی که میانگین موجودی تورיום-۲۳۲ سنجش شده در نمونه های ما از مقادیر متناظر گزارش شده ی بین المللی، و تراز



مرجع UNSCEAR به میزان قابل ملاحظه ای بیشتر می باشد. این میانگین، تنها در گستره ی مقادیر گزارش شده ی کشور رومانی در مورد غلات به طور کلی قرار می گیرد.

میانگین موجودی پتاسیم-۴۰ در نمونه های برنج مورد سنجش  $29.83 \text{ Bq kg}^{-1}$  در مقایسه با مقادیر گزارش شده ی هنگ کنگ و انگلستان بیشتر بوده است.

در مورد ویژه هسته سزیم-۱۳۷، چون این ویژه هسته مصنوعی بوده و محصول واکنش شکافت است، به گزارش آژانس بین المللی انرژی اتمی (IAEA) مقدار مجاز و استاندارد این ویژه هسته در مواد غذایی در زمان سوانح هسته‌ای  $1000 \text{ Bq kg}^{-1}$  است که در مواقع عادی مقدار مجاز به یک دهم مقدار فوق یعنی  $100 \text{ Bq kg}^{-1}$  تقلیل می یابد. با توجه به حداکثر مقدار مجاز فوق برای سزیم-۱۳۷ در مواد غذایی، غلظت رادیونوکلئید فوق در نمونه های برنج مورد آزمایش ( $2 \text{ Bq kg}^{-1}$ )، بسیار اندک است.

لازم به یادآوری است که در مورد نمونه های وارداتی برنج پاکستانی و تایلندی، که به عنوان برنج های مصرفی مردم در جوار برنج های داخلی مورد سنجش واقع شده اند، موجودی سزیم-۱۳۷ برنج های تایلندی، فراتر از برنج محصول داخل، و موجودی پتاسیم-۴۰ این دو گونه ی برنج، کمتر از برنج داخلی بوده است.

مراجع:

- [1] Eisenbud, M. & Gesell, T. *Environmental Radioactivity*. Academic Press, San Diego (1997).
- [2] Principles of Radiation Protection, IAEA Basic Radiation Safety Training Package (2001).
- [3] Ya, K.N. and Mao, S.Y. Assessment of radionuclide Contents in food in Hong Kong, *Health Phys.* **77**(6): 686-696 (1999).
- [4] Fisenne, I.M., perry, P.M., Decker, K.M. and keller, H.W. The daily intake of  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  by New York city residents, *Health Phys.* **53**(4) : 357-363 (1987).
- [5] Venturini, L and Sordi, G.A.A. Radioactivity in and committed effective dose from some Brazilian foodstuffs, *Health Phys.* **76**(3): 311-313 (1999).



[6] DoE (Department of Environment): HMIP-Commissioned research, Natural Radionuclides in Environmental Media, DoE/HMIP/RR/93/063 (1993).

[7] Shiraishi., K., Tagami, K., Muramastu, Y. and Yamamoto, M. Contributions of 18 food categories to intake of  $^{232}\text{Th}$  and  $^{238}\text{U}$  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).