

اندازه‌گیری غلظت مواد پرتوزای طبیعی (NORM) در آب شهر تهران، با استفاده از بیناب سنجی گاما

مهرناز زهتاب ور^۱، داریوش سرداری^۱، غلامرضا جهانفر نیا^۱، محمد رضا عبدی^۲

^۱گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

^۲دانشگاه اصفهان، دانشکده فیزیک

چکیده:

در این مقاله غلظت مواد پرتوزای طبیعی (NORM) در آب های سطحی و چاه های آبیاری سطح شهر تهران با استفاده از بیناب سنجی گاما به وسیله‌ی آشکارساز HPGe اندازه‌گیری شده است. نمونه‌ها از چاه های آبیاری سطح شهر با رعایت اصول نمونه برداری تهیه شدند. اندازه‌گیری‌ها بر روی نمونه‌های جمع آوری شده، برای بررسی غلظت ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K انجام شدند. پرتوزایی ویژه‌ی ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K به ترتیب از MDA تا ۴،۰۴، از MDA تا ۶،۸۵ و از MDA تا ۴،۷ Bq/L متغیر بود. انباشت مواد پرتوزا در نمونه های مناطق جنوبی شهر تهران بیشتر از مناطق مرکزی اندازه گیری شد. غلظت ^{226}Ra در همه‌ی نمونه‌ها کمتر از آستانه‌ی پاک‌سازی کانادا و استاندارد EPA بود.

کلمات کلیدی: پرتوزایی طبیعی، آب سطحی، طیف سنجی گاما، آشکارساز HPGe

مقدمه:

مواد پرتوزای طبیعی به موادی اطلاق می‌گردد که به طور طبیعی در محیط زیست یافت می‌شوند. این مواد در آب، خاک، گیاهان، انسان، ذغال سنگ، نفت، سنگ معدن، زباله های عملیات زمین گرمایی، پساب و ... در مقادیر کم اما متغیر دیده می‌شود [۱]. این مواد معمولاً مربوط به زنجیره‌های واپاشی ^{238}U و ^{232}Th و دختر هسته‌های آن‌ها می‌باشند. غلظت متوسط اورانیوم و تورنیوم در پوسته‌ی زمین به ترتیب ۴/۲ و ۱۲/۵ ppm اندازه‌گیری شده است [۱]. با گسترش فعالیت‌های صنعتی، غلظت این مواد نیز افزایش می‌یابد. این مواد در نتیجه فعالیت‌های انسانی یا برخی فرآیندهای صنعتی، بازپراکنی می‌شوند. در مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا، احتمال انباشت اورانیوم و تورنیوم در آب های سطحی و زیرزمینی وجود دارد. با حرکت آب های زیرزمینی از میان شکاف ها که حاوی ترکیبات شیمیایی اورانیوم دار و تورنیوم دار هستند، این مواد معدنی در آب حل می‌شوند و با آن منتقل می‌گردند. بنابراین آزمون های کیفیت سنجی آب سطوحی از پرتوزایی را در این نمونه ها نشان خواهد داد. ایزوتوپ های اورانیوم دارای سمیت پرتوی بالایی هستند. با توجه به سمیت پرتوی ^{226}Ra و ^{228}Ra و حضور آن ها درون آب و مخاطراتی که برای سلامتی ایجاد می‌کنند، لازم است تا تدابیر

لازم برای کنترل غلظت آن‌ها اندیشیده شود.

نمونه برداری :

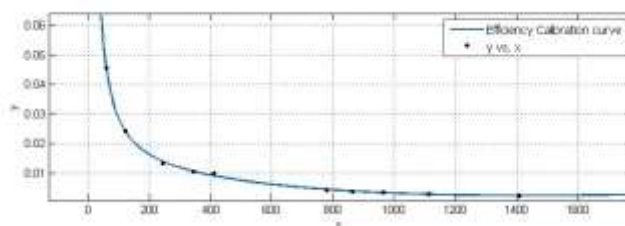
محل‌های نمونه برداری، منابع آب سطحی و چاه‌های آبیاری شرکت آب و فاضلاب تهران در نواحی مرکزی و جنوبی شهر تهران بود. نمونه برداری مطابق با روش ارائه شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی انجام گرفت [۷]. از ظروف پلی اتیلنی ۱/۵ لیتری که از قبل با آب مقطر و اسید شست‌وشو داده شده بودند استفاده شد. قبل از جمع‌آوری نمونه‌ی اصلی، دو مرتبه ظرف نمونه پر و خالی شد. برای جلوگیری از چسبیدن مواد پرتوزا به جداره ظرف، ۳ mL هیدروکلریک اسید ۱۱M در محل به نمونه‌ها اضافه شد. سپس نمونه‌ها به ظروف مارینلی ۸۰۰CC انتقال داده شدند و برای دستیابی به تعادل پرتوزایی بین رادیوم و دختر هسته‌های آن، به مدت ۳۰ روز نشت‌بندی شدند.

معرفی سامانه‌ی آشکارسازی :

پرتوزایی ویژه‌ی هسته‌های موجود در زنجیره‌های واپاشی ^{238}U ، ^{232}Th و هسته‌ی منفرد ^{40}K با استفاده از آشکارساز HPGe هم‌محور مدل GMX10180 محصول شرکت ORTEC و تحلیل‌گر چندکاناله (MCA) دارای ۴۰۹۶ کانال ساخت انستیتو فیزیک کاربردی ایران (IAP) انجام گرفت.

جدول (۱): مشخصات نمونه‌ی مرجع مایع و بازدهی محاسبه شده

بازدهی (%)	احتمال گسیل (%)	انرژی گسیلی (KeV)	پرتوزایی (μCi)	هسته‌ی پرتوزا
۲/۲۹۱۷	۲۸/۵۸	۱۲۱/۷۸	0.081 ± 0.0007	Eu-۱۵۲
۱/۳۸۸۱	۷/۵۸	۲۴۴/۶۹	0.081 ± 0.0007	Eu-۱۵۲
۱/۰۱۱۵	۲۶/۵	۳۴۴/۲۷	0.081 ± 0.0007	Eu-۱۵۲
۰/۷۹۶۶	۲/۲۳۴	۴۱۱/۲۳۴	0.081 ± 0.0007	Eu-۱۵۲
۰/۴۴۳۹	۱۲/۹۴	۷۷۸/۹	0.081 ± 0.0007	Eu-۱۵۲
۰/۳۸۷۴	۴/۲۴۵	۸۶۴/۳۷	0.081 ± 0.0007	Eu-۱۵۲
۰/۳۳۶۷	۱۴/۶	۹۶۴/۰۷	0.081 ± 0.0007	-۱۵۲ Eu
۰/۳۰۷۴	۱۳/۶۴	۱۱۱۲/۰۶۹	0.081 ± 0.0007	Eu-۱۵۲
۰/۲۴۰۴	۲۱	۱۴۰۸	0.081 ± 0.0007	Eu-۱۵۲



شکل (۱) منحنی مقیاس بندی بازدهی آشکارساز

از نرم افزار Maestro برای تحلیل بیناب استفاده شد. قدرت تفکیک انرژی سامانه‌ی آشکارسازی ۱/۳ KeV برای انرژی ۱۳۳۲/۵ KeV هسته‌ی ^{60}Co محاسبه شد. سامانه‌ی آشکارسازی دارای یک حفاظ تشکیل شده از ۵ cm سرب، ۲ mm آهن، و ۲ mm مس برای حذف تابش زمینه بود. مقیاس بندی انرژی با استفاده از چشمه‌های نقطه‌ای ^{60}Co ، ^{137}Cs و ^{241}Am انجام شد و برای مقیاس بندی بازدهی آشکارساز از نمونه‌ی مرجع مایع، در همان هندسه‌ی نمونه‌های مجهول استفاده شد. مشخصات نمونه‌ی مرجع در جدول ۱ آمده است.

روش تحلیل بیناب گاما :

پس از مقیاس بندی انرژی و بازدهی سامانه‌ی آشکارسازی، نمونه‌های مجهول به صورت هم محور روی آشکارساز قرار داده شده و به مدت ۸۶۴۰۰ ثانیه شمارش شدند. برای تصحیح سطح خالص زیر قله‌ی تمام-انرژی، تابش زمینه با استفاده از نمونه‌ی تهی (آب دوبار تقطیر) در ظرف مارینلی CC ۸۰۰ اندازه گیری شد. پرتوایی مطلق با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شد :

$$\text{Act(Bq/L)} = \frac{C_{\text{net}}}{\varepsilon(\%) \times \lambda \times t \times V} \times 100 \quad (1)$$

که در آن C_{net} شمارش خالص زیر قله، ε بازدهی قله‌ی تمام-انرژی در انرژی مورد نظر، γ احتمال گسیل گامای مورد نظر، t زمان زنده‌ی شمارش، V حجم نمونه می‌باشد.

جدول (۲): خطوط گامای استفاده شده جهت اندازه گیری

عدم قطعیت (%)	احتمال گسیل (%)	انرژی (KeV)	هسته‌ی پرتوزا
۰/۵۶۰	۱۰/۶۷	۱۴۶۰/۸۳	^{40}K
۲/۱۴۰	۱۸/۷۰	۲۹۵/۲۲۰	^{214}Pb
۱/۹۶۰	۳۵/۸۰	۳۵۱/۹۳۰	
۰/۸۹۰	۴۵/۰۰	۶۰۹/۳۲۰	^{214}Bi
۱/۳۴۰	۱۴/۹۰	۱۱۲۰/۲۸	
۲۰/۰۷	۱۱/۵۱	۳۳۸/۴۰۰	^{228}Ac
۹/۹۸۰	۱۶/۷۴	۹۶۸/۹۰۰	

برای اندازه‌گیری غلظت ^{226}Ra از ^{214}Pb و ^{214}Bi و برای اندازه‌گیری غلظت ^{232}Th از ^{228}Ac که در تعادل پرتوزایی با مادر هسته‌های خود هستند، استفاده شد. گاما‌های مورد استفاده جهت اندازه‌گیری و احتمال گسیل هر کدام در جدول ۲ آمده است.

نتایج :

در این پژوهش غلظت پرتوزایی در ۱۷ نمونه‌ی آب از شهر تهران اندازه‌گیری شده است. پرتوزایی ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K در جدول ۴ آمده است. تغییرات پرتوزایی برای هسته‌های ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K به ترتیب از MDA تا ۴،۰۴، از MDA تا ۶،۸۵ و از MDA تا ۴،۷ Bq/L متغیر است. غلظت مواد پرتوزای طبیعی در آب، که توسط محققین کشورهای مختلف گزارش شده است؛ در جدول ۵ آمده است. با توجه به جدول ۵ پرتوزایی ^{226}Ra ، ^{232}Th در آب همراه از پرتوزایی آب‌های محیطی کشورهای مصر، برزیل، عربستان سعودی، صربستان، ژاپن، ترکیه، پاکستان و ایران (دریای عمان) بیشتر و پرتوزایی ^{40}K از پرتوزایی آب‌های محیطی کشورهای مصر، مالزی، ترکیه و پاکستان بیشتر و از نیجریه و جمهوری اسلامی ایران (دریای عمان) کمتر است. همان‌طور که در جدول ۵ دیده می‌شود، بین غلظت پرتوزایی در یافته‌های این پژوهش و نتایج ارایه شده توسط محققین سایر کشورها اختلاف زیادی وجود ندارد که حاکی از صحت این نتایج است.

بحث و نتیجه‌گیری :

پرتوزایی طبیعی ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K در آب ۱۷ منطقه‌ی شهر تهران اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از سامانه‌ی آشکارسازی با قدرت تفکیک بالای HPGe انجام شدند. بیشترین غلظت ^{226}Ra در منطقه‌ی بازار گل مشاهده شد. غلظت ^{226}Ra در تمامی نمونه‌ها هواره کمتر از آستانه‌ی پاک‌سازی کانادا (Derived Release Limit of Canada) (۵ Bq/L) و استاندارد EPA بود. همچنین بیشترین غلظت ^{232}Th (زمینه) مربوط به منطقه ۱۳ آبان بود. بیشترین پرتوزایی ^{40}K در نمونه‌ی مربوط به منطقه‌ی قرچک اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش حاکی از این است که هرچه به جنوب شهر تهران نزدیک تر می‌شویم، غلظت پرتوزایی بیشتر می‌شود. نتایج نشان دهنده‌ی این است که انباشت پرتوزایی از عوامل مختلف در جنوب شهر تهران اتفاق می‌افتد و می‌توان به دلیل جنس متفاوت لایه‌های زیر زمینی و همین‌طور ترکیبات شیمیایی موجود در خاک آن مناطق باشد که سبب انحلال بیشتر این مواد در آب و انتقال آنها به سطح می‌شود.

جدول ۳: غلظت پرتوزایی ^{232}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K در ۱۷ نمونه

کد نمونه	محل نمونه برداری	(Bq/L) ^{232}Ra	(Bq/L) ^{232}Th	(Bq/L) ^{40}K
1	قرچک	۰,۳۱	۱,۲۹	۴,۷
2	اسلامشهر	۲,۰۲	MDA	4.7
3	۱۳-آبان	۲,۱۳	۶,۸۵	MDA
4	امیرآباد-کوی دانشگاه	۰,۶۳	۴,۵۷	MDA
5	امیرآباد-دانشکده فنی	۰,۳۱۷	۱,۲۹	MDA
6	موسسه-ژئوفیزیک	MDA	۱,۴۸	MDA
7	فاطمی-پارک آفاقیا	MDA	MDA	MDA
8	پارک قزل قلعه	MDA	MDA	MDA
9	پارک گفتگو	۰,۸۷	MDA	MDA
10	انتهای بزرگراه شهید هاشمی	۲,۷۷	MDA	MDA
11	میدان راه آهن	MDA	MDA	MDA
12	شهرری میدان مدرس	۲,۰۲	۱,۲۹۳	MDA
13	بازار گل	۴,۰۴	MDA	۴,۶
14	پارک شهر	MDA	MDA	MDA
15	خ زنجان-جمع آوری زباله	۲,۰۲	۲,۵۸	MDA
16	بیمارستان شریعتی	MDA	MDA	MDA
17	پارک رازی	MDA	MDA	MDA

جدول ۴: مقایسه‌ی پرتوزایی نمونه‌های آبی در مناطق مختلف جهان

مرجع	^{40}K (Bq/L)	^{232}Th (Bq/L)	^{226}Ra (Bq/L)	نوع نمونه	کشور
[۳]	۷-۱۳۰	۸-۲۱	۸/۴-۲۰	آب دریاچه	نیجریه
[۶]	۰/۱۱۹	۰/۰۰۶	۰/۰۲۱	آب دریاچه	مصر
[۷]	-	-	۰/۰۱-۳/۷۹	آب زیرزمینی	برزیل
[۸]	-	-	۱/۲۸-۳/۶۱	آب چاه	عربستان سعودی
[۹]	-	-	۰/۲۶	آب شرب	صربستان
[۱۰]	-	-	۰/۰۰۱۴-۰/۰۰۴۸	آب دریا	ژاپن
[۱۱]	۱/۲۸	۰/۰۶۴۵	۰/۰۲۶۶	آب معدنی	مالزی
[۱۳]	۰/۰۰۹-۰/۲۹	-	۰/۰۰۳-۰/۰۴۵	آب مخزن	ترکیه
[۱۳]	۰/۱۴	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	آب شرب	پاکستان
[۱۴]	۱۳۲/۶-۱۴۸/۸۷	۱/۶۶-۲/۱۷	۲/۱۹-۲/۸۲	آب دریا	ایران (دریای عمان)
این پژوهش	MDA-۶,۸۵	MDA-۶,۸۵	MDA-۴,۰۴	آب همراه نفت	ایران

مراجع :

- [۱] F. Bou-Rabee, A. Z. Al-Zamel, R. A. Al-Fares, and H. Bem, "Technologically enhanced naturally occurring radioactive materials in the oil industry (TENORM)," *Nukleonika*, vol. 54, pp. 3-9, 2009.
- [۲] A. Guidebook, "Measurement of Radionuclides in Food and the Environment," 1989.
- [۳] E. Agbalagba and R. Onoja, "Evaluation of natural radioactivity in soil, sediment and water samples of Niger Delta (Biseni) flood plain lakes, Nigeria," *Journal of environmental radioactivity*, vol. 102, pp. 667-671, 2011.
- [۴] S. Unscear, "effects of Ionizing Radiation," *United Nations, New York*, pp. ۲۰۰۰, ۸۷-۴۵۳ .
- [۵] H. Diab, S. Nouh, A. Hamdy, and S. El-Fiki, "Evaluation of natural radioactivity in a cultivated area around a fertilizer factory," *J Nucl Radiat Phys*, vol. 3, pp. 53-62, 2008.
- [۶] N. K. Ahmed, "Natural radioactivity of ground and drinking water in some areas of upper Egypt," *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, vol. 28, pp. 345-354, 2004.
- [۷] J. M. Godoy and M. L. Godoy, "Natural radioactivity in Brazilian groundwater," *Journal of environmental radioactivity*, vol. ۸۵, pp. 71-83, 2006.
- [۸] A. Aksoy, M. Al-Jarallah, and M. Al-Haddad, "Natural radioactivity in the scale of water well pipes," *Journal of environmental radioactivity*, vol. 61, pp. 33-40, 2002.
- [۹] N. Todorovic, J. Nikolov, S. Forkapic, I. Bikit, D. Mrdja, M. Krmar, *et al.*, "Public exposure to radon in drinking water in Serbia," *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 70, pp. 543-549, 2012.
- [۱۰] M. Inoue, K. Yoshida, M. Minakawa, H. Kofuji, S. Nagao, Y. Hamajima, *et al.*, "Spatial variations



- of 226 Ra, 228 Ra, 137 Cs, and 228 Th activities in the southwestern Okhotsk Sea," *Journal of environmental radioactivity*, vol. 104, pp. 75-80, 2012.
- [۱۱] N. Yussuf, I. Hossain, and H. Wagiran, "Natural radioactivity in drinking and mineral water in Johor Bahru (Malaysia)," *Scientific Research and Essays*, vol. 7, pp. 1070-1075, 2012.
- [۱۲] U. Cevik, N. Damla, G. Karahan, N. Celebi, and A. Kobya, "Natural radioactivity in tap waters of Eastern Black Sea region of Turkey," *Radiation protection dosimetry*, vol. 118, pp. 88.۲۰۰۶, ۹۲-
- [۱۳] I. Fatima, J. Zaidi, M. Arif, and S. Tahir, "Measurement of natural radioactivity in bottled drinking water in Pakistan and consequent dose estimates," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 123, pp. 234-240, 2007.
- [۱۴] M. R. Zare, M. Kamali, Z. Omid, M. Khorambagheri, M. S. Mortazavi, M. Ebrahimi, *et al.*, "Evaluation of natural radioactivity content in high-volume surface water samples along the northern coast of Oman Sea using portable high-resolution gamma-ray spectrometry," *Journal of environmental radioactivity*, vol. 144, pp. 134-139, 2015.