



## غلظت رادیم-۲۲۶ در نمونه‌های آب معدنی بطری شده‌ی ایران

علی عطاری لری\*، سیما حافظی، سعیده سادات حسینی

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

**چکیده:** در این بررسی غلظت  $^{226}\text{Ra}$  در ۴۲ نمونه مربوط به ۱۴ نوع آب معدنی بطری شده‌ی موجود در بازار تهران اندازه‌گیری شده است. برای تعیین میزان پرتوزایی آب‌های معدنی از روش آزادسازی گاز رادن ناشی از انحلال سولفات رادیم در EDTA (نمک دی سدیک اتیلن دی آمین تترا استیک اسید) استفاده شده است. نتایج به دست آمده میزان  $^{226}\text{Ra}$  را در نمونه‌های آب معدنی آزمایش شده، بین ۲ تا  $۱۲٫۳$  میلی بکرل در لیتر ( $\text{mBq l}^{-1}$ ) نشان می‌دهد که در مقایسه با میزان مجاز رادیم در آب‌های آشامیدنی که طبق استانداردهای بین‌المللی تا  $۱۰۰ \text{mBq l}^{-1}$  تعیین شده است، دارای سطح پرتوزایی پایینی می‌باشد. در صورتی که میزان مصرف آب معدنی در ایران را حدود ۴۰ لیتر در سال، در نظر بگیریم، دز مؤثر مجموع<sup>(۱)</sup> سالیانه آن برای بزرگسالان  $۰٫۱۳۸ \mu\text{Sv}$  محاسبه می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** رادیم-۲۲۶، آب معدنی، کیفیت آب، روش آزادسازی گاز رادن، ایران

## Concentration of $^{226}\text{Ra}$ in Iranian Bottled Mineral Water

A. Attarilar\*, S. Hafezi, S.S. Hosseini

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

**Abstract:** In this work the concentration levels of  $^{226}\text{Ra}$  were measured in 42 samples related to 14 types of bottled natural mineral water commercially available in market. The applied method for this measurement was emanation method with a minimum detection limit of  $2 \text{ mBq l}^{-1}$ . After adjusting the pH below 2 by concentrated HCl, the radium was co-precipitated with barium and lead as sulfate. The precipitate was dissolved in alkaline EDTA ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) and placed in 20ml bubbler. The bubbler was sealed and stored for 21 days at  $5^\circ\text{C}$  for ingrowth of  $^{222}\text{Rn}$ . For calculation the committed effective dose for adults drinking  $40 \text{ l y}^{-1}$  of bottled mineral water, the ingestion dose conversion coefficients from the IAEA publications is used. Concentration of  $^{226}\text{Ra}$  ranged from 2.0 to  $12.3 \text{ mBq l}^{-1}$ . In one case  $12.3 \text{ mBq l}^{-1}$  was measured, which provides  $0.138 \mu\text{Sv}$  committed effective dose for adults in the case of consumption rate of  $40 \text{ l y}^{-1}$ .

**Keywords:** Radium 226, Mineral Water, Water Quality, Radon Emanation Method, Iran

\*email: aattari@aeoi.org.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۱۲/۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۵/۲۰



## ۱- مقدمه

به عبارت دیگر منشأ آب‌های معدنی، چشمه‌ها و یا چاه‌ها هستند که ممکن است دارای رادیونوکلیدهای طبیعی حاصل از واپاشی زنجیره‌ی اورانیم-رادیم باشند که غلظت آن‌ها در آب‌های مختلف متفاوت بوده و بستگی کامل به نوع سنگ‌های بستر آبخیز، که چشمه از آن فوران می‌کند، دارد. به علاوه pH آب در سرچشمه، مدت و مقدار آب پمپ شده، انجام هرگونه عملیات بر روی آب در قبل از بطری کردن آن و بالاخره عمق نسبی چاه‌ها در صورتی که بیش از یک چاه مورد استفاده قرار گرفته شده باشد، نیز در میزان غلظت رادیم در آب می‌تواند تأثیرگذار باشد.

$^{226}\text{Ra}$  یکی از رادیونوکلیدهای آلفا گسیل طبیعی با نیمه‌عمر ۱۶۰۰ سال و نیمه‌عمر بیولوژیکی ۴۵ سال است [۱] که در تعیین میزان دز بلعی<sup>(۲)</sup> سهم بسزایی دارد. رادیم یک قلیایی خاکی است که مسیر متابولیسمی مشترکی با کلسیم در بدن دارد و بخش قابل توجهی از آن در استخوان‌ها متمرکز می‌گردد. گرچه آب در مقایسه با غذا منبع اصلی برای جذب رادیونوکلیدها به حساب نمی‌آید، معهدا غلظت رادیونوکلیدهای طبیعی موجود در آب‌های معدنی و میزان مشارکت آن‌ها در دز بلعی از نظر اهداف حفاظت در برابر اشعه می‌بایست مشخص گردد.

در سال‌های اخیر در کشور ایران نیز مانند سایر کشورها مصرف آب معدنی بطری شده به جای آب لوله‌کشی افزایش چشم‌گیری پیدا کرده است به طوری که در بعضی از مناطق که آب آشامیدنی از کیفیت مطلوبی برخوردار نیست، قسمتی از آب مصرفی آشامیدنی از طریق آب‌های معدنی بطری شده تأمین می‌گردد. به‌طور مثال در کشور مجارستان در سال ۱۹۹۹ میزان مصرف سرانه آب معدنی ۲۸ لیتر در سال گزارش شده است [۲]، در حالی که در سال ۲۰۰۰ این میزان به ۴۰ لیتر رسیده و در حال حاضر در برخی از مناطق این کشور میزان مصرف آن تا یک لیتر در روز افزایش یافته است. در کشور چین به دلیل کمبود آب قابل شرب، مصرف آب بطری شده از ۶/۴ میلیون لیتر در سال ۲۰۰۱ به ۸/۵ میلیون لیتر در سال ۲۰۰۲ افزایش یافته است و انتظار می‌رود رشد بازار هم‌چنان ادامه داشته و در سال‌های آینده به ۱۴ میلیون لیتر بالغ شود که تماماً از کشورهای مختلفی به این کشور وارد می‌گردد. در کشور آلمان و اتریش متوسط میزان مصرف آب معدنی ۸۰ لیتر در سال می‌باشد [۳ و ۴]. تعیین میزان مصرف

تمامی آب‌ها دارای ناخالصی می‌باشند و آب خالص وجود ندارد. آب‌های جاری رودخانه‌ها، آب‌هایی که در دریاچه‌ها تجمع یافته‌اند؛ یا آب‌هایی که از لایه‌های مختلف خاک عبور می‌کنند می‌توانند موادی را در خود حل یا جذب نمایند. بعضی از این مواد مضر نبوده، فقط باعث تغییر طعم آب شده و ممکن است مزه آن را مطلوب‌تر نیز بنمایند. ولی این امکان نیز وجود دارد که آب‌ها به‌وسیله مواد تشکیل‌دهنده بستر آبخیز، یا موادی که به صورت مصنوعی وارد آن‌ها شده‌اند مانند پساب کارخانجات صنعتی و غیره، از نظر شیمیایی یا میکروبیولوژی آلوده گردند و مشکلاتی را برای مصرف‌کنندگان از نظر بهداشتی فراهم آورند. یکی از این آلودگی‌ها ممکن است آلودگی به مواد پرتوزا باشد. برای آب‌های معدنی که در بطری‌های در بسته به منظور استفاده مردم به فروش می‌رسد مقررات و استانداردهایی وضع گردیده است که رعایت آن‌ها در اغلب کشورها الزامی است. برای مثال، استفاده از مواد شیرین‌کننده یا نگه‌دارنده‌های شیمیایی در این‌گونه آب‌ها مجاز نمی‌باشد و آب باید فاقد کالری باشد.

منشأ آب‌های معدنی بطری شده دارای تفاوت‌هایی به شرح زیر است:

- چشمه‌ای که آب آن به طور طبیعی به سطح زمین راه پیدا کرده است دارای مواد جامد محلول کم‌تر از ۵۰۰ppm می‌باشد.
- چشمه‌ای که مواد جامد محلول در آن از ۵۰۰ppm بیش‌تر می‌باشد (آب معدنی).
- منبع آبی که دسترسی به آن از طریق کندن چاه با روش‌های متفاوت امکان‌پذیر باشد (آب چاه).
- نوع چاه ممکن است از نوع آرتزین باشد (آب چاه‌های آرتزین).
- آب چشمه، چاه و یا حتی آب لوله‌کشی که از طریق تقطیر، یون‌زدایی و یا اسمز معکوس (آب با فشار از یک غشاء نیمه تراوا عبور داده می‌شود) یون‌ها و املاح آن گرفته شده باشد که به آن آب خالص می‌گویند.
- آبی که به طور طبیعی شامل گاز کربنیک بوده و یا این که به صورت مصنوعی به آن اضافه شده باشد مانند سودا و تونیک.



تبادل رسیدن  $^{226}\text{Ra}$  با دختر آن، یعنی گاز رادن ( $^{222}\text{Rn}$ )، کافی است. گاز رادن جمع شده در محفظه بالای بابلر وارد اتاقک سنتیلاسیون که قبلاً از هوا تخلیه شده است، می‌شود. بعد از گذشت ۳ ساعت (زمان لازم برای تعادل بین گاز رادن و دخترانش) نسبت به شمارش ذرات آلفای گسیل شده از نمونه به مدت ۵۰ دقیقه اقدام می‌شود.

سیستم شمارش گراز نوع SAC-R5 ساخت کارخانه Eberline می‌باشد که از تکثیرکننده‌های فوتون تشکیل شده است. از سولفور روی فعال شده با نقره<sup>(۴)</sup> به عنوان سنتیلاتور در دیواره داخلی اتاقک‌های سنتیلاسیون استفاده شده است. این اتاقک به لوکاس<sup>(۵)</sup> نیز معروف است. حداقل سطح پرتوژی قابل اندازه‌گیری در این روش ۲ میلی‌بکرل در لیتر ( $\text{mBq l}^{-1}$ ) است [۷]. جدول ۱ مشخصات و میزان پرتوژی  $^{226}\text{Ra}$  را در آب‌های معدنی مورد آزمایش نشان می‌دهد.

### ۳- تعیین پرتوگیری مردم از $^{226}\text{Ra}$ موجود در آب‌های معدنی

متأسفانه در ایران هیچ‌گونه آماری در رابطه با میزان مصرف سالیانه آب‌های معدنی آشامیدنی توسط گروه‌های مختلف سنی وجود ندارد. در صورتی که فرض کنیم در ایران نیز مانند برخی از کشورها متوسط مصرف سالیانه آب معدنی حدود ۴۰ لیتر باشد، با در نظر گرفتن بالاترین پرتوژی اندازه‌گیری شده و با استفاده از ضریب تبدیل پرتوژی به دز که طبق توصیه UNSCEAR 2000، ۰/۲۸ میکروسیورت به ازای هر بکرل ( $\mu\text{Sv Bq}^{-1}$ ) در نظر گرفته شده است، می‌توان سهم رادیوایزوتوپ  $^{226}\text{Ra}$  را در پرتوگیری سالیانه مردم کشور (معادل دز مؤثر مجموع سالیانه) از طریق مصرف آب‌های معدنی آشامیدنی طبق فرمول زیر حساب کرد [۸]:

$$D = C_{226\text{Ra}} (\text{Bq l}^{-1}) \cdot U (\text{l y}^{-1}) \cdot D_f (\mu\text{Sv Bq}^{-1}) \quad (1)$$

که در آن  $C_{226\text{Ra}}$  غلظت رادیونوکلید  $^{226}\text{Ra}$  در آب آشامیدنی برحسب بکرل در لیتر ( $\text{Bq l}^{-1}$ )،  $U$  میزان مصرف سالیانه آب معدنی برحسب لیتر در سال ( $\text{l y}^{-1}$ ) و  $D_f$  ضریب تبدیل پرتوژی به دز برحسب میکروسیورت بر بکرل

سالانه از طریق اطلاعات موجود در شرکت‌های صاحب امتیاز از نظر میزان تولید، می‌تواند کمک مؤثری در محاسبه دقیق دز مؤثر مجموع سالیانه برای کل کشور باشد. به علاوه از آنجایی که برای تهیه آب میوه در صنعت به افشره آن آب اضافه می‌گردد که گاهی ممکن است آب معدنی باشد و از طرفی مصرف کنندگان اصلی آب میوه و یا انواع نوشابه، کودکان و نوجوانان می‌باشند از این رو بررسی میزان  $^{226}\text{Ra}$  موجود در آب میوه‌ها و نوشابه‌ها می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. گسترش این پروژه به سایر استان‌های کشور که احتمالاً برخی از آن‌ها ممکن است دارای چشمه‌هایی با پرتوژی بالاتر، به علت تغییرات در نوع خاک بستر آبخیز باشند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

### ۲- روش کار و دستگاه‌ها

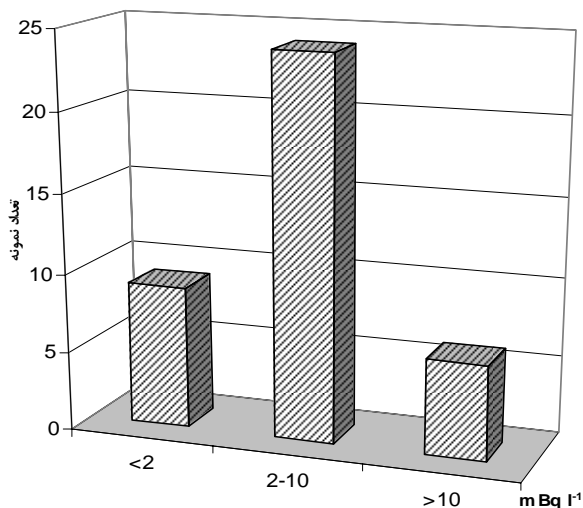
از آنجایی که ممکن است قبل از بطری شدن، عملیاتی بر روی آب معدنی صورت گرفته باشد، بنابراین برای تعیین میزان غلظتی از  $^{226}\text{Ra}$  که در پرتوگیری ناشی از مصرف آب معدنی آشامیدنی دخالت دارد، از بطری‌های آب معدنی موجود در بازار باید استفاده شود برای این منظور از هر نمونه آب معدنی ۳ بطری ۱/۵ لیتری خریداری شده و پس از ثبت مشخصات مندرج در برچسب آن‌ها از قبیل نام تجاری، نام چشمه، محل چشمه، pH، میزان سختی، شرکت صاحب امتیاز، تاریخ تولید و تاریخ انقضاء، به ظروف مناسبی منتقل گردیده و تا  $\text{pH} \sim 2$  با کلریدریک اسید غلیظ اسیدی گردید.

روش به کار رفته برای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری رادیونوکلید مورد نظر، روش آزادسازی گاز رادن<sup>(۳)</sup> می‌باشد [۵]. در این روش ابتدا رادیم به صورت سولفات مضاعف رادیم-باریم رسوب داده شده و پس از خالص‌سازی‌های متعدد در محلول EDTA ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) قلیایی حل و به ظرف شیشه‌ای مخصوصی به نام بابلر منتقل می‌شود [۶].

گاز ازت از بابلر به مدت چند دقیقه عبور داده می‌شود تا محلول عاری از گاز رادن گردد. سپس شیرهای آن بسته شده و به مدت ۲۱ روز در دمای حدود ۵ درجه سانتی‌گراد (در یخچال) نگه‌داری می‌شود تا حتی‌الامکان از خارج شدن گاز رادن به علت خاصیت نفوذپذیری زیاد آن جلوگیری شود. این مدت برای به



$^{226}\text{Ra}$  می‌باشد طبق محاسبات، در ۲۳ درصد از موارد بررسی شده غلظت  $^{226}\text{Ra}$  کم‌تر از ۲ میلی‌بکرل در لیتر، در ۶۱٫۵ درصد غلظت بین ۲ تا ۱۰ و در ۱۵٫۵ درصد دیگر بیش از ۱۰ میلی‌بکرل در لیتر اندازه‌گیری شده است. با توجه به توصیه‌های بین‌المللی موجود در رابطه با حد مجاز غلظت  $^{226}\text{Ra}$  در آب‌های آشامیدنی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آب‌های معدنی مورد بررسی همگی از نظر پرتوزایی پایین‌تر از حد مجاز می‌باشند.



شکل ۱- توزیع تعداد آب معدنی‌های بطری شده برحسب غلظت  $^{226}\text{Ra}$ .

#### پی‌نوشت‌ها:

- ۱- Committed Effective Dose
- ۲- Ingestion Dose
- ۳- Emanation Method
- ۴- ZnS (Ag)<sub>r</sub>
- ۵- Lucas

$D$  و میزان دز مؤثر مجموع سالیانه برحسب میکروسیورت در سال ( $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ) می‌باشد.

با توجه به این که طبق آمار کشورهای دیگر مهم‌ترین قشر مصرف‌کننده آب معدنی محدوده سنی بین ۲۰ تا ۵۹ سال (بزرگسالان) می‌باشد [۹] میزان دز مؤثر مجموع سالیانه برای این گروه ۰٫۱۳۸ میکروسیورت در سال ( $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ) حساب شده است و این در حالی است که توسط ارگان‌های بین‌المللی مثل WHO و اتحادیه اروپا European Union با فرض این که آب معدنی مصرف شده فقط شامل رادیونوکلید  $^{226}\text{Ra}$  بوده و میزان مصرف نیز ۲ لیتر در روز باشد، دز مؤثر سالیانه از ۰٫۱ میلی‌سیورت در سال ( $\text{mSv y}^{-1}$ ) توصیه می‌شود.

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود غلظت رادیونوکلید  $^{226}\text{Ra}$  در ۴۲ نمونه آب معدنی آنالیز شده از ۲ تا ۱۲٫۳ میلی‌بکرل در لیتر متغیر بود. حداکثر مقدار  $^{226}\text{Ra}$  در نمونه‌ی Go-۰۱۲ اندازه‌گیری شد. شکل ۱ نشان‌گر توزیع تعداد نمونه‌های آب معدنی بطری شده به صورت تابعی از غلظت

جدول ۱- مشخصات و میزان پرتوزایی آب‌های معدنی بطری شده مورد آزمایش.

کد نمونه	نام چشمه	غلظت $^{226}\text{Ra}$ ( $\text{mBq l}^{-1}$ )
Aq-۰۰۱	چشمه زاگرس-دنا	$۲٫۱۰ \pm ۰٫۱۵$
Po-۰۰۲	چشمه قلعه دختر	$۲٫۲۰ \pm ۰٫۱۵$
Da-۰۰۳	چشمه ماهیدشت	$۲٫۶۴ \pm ۰٫۱۸$
Dv-۰۰۴	چشمه اعلا	$۳٫۰۰ \pm ۰٫۲۰$
Ra-۰۰۵	-	<۲
Sa-۰۰۶	چشمه های سیلان	$۲٫۱۰ \pm ۰٫۱۴$
Se-۰۰۷	چشمه های خودجوش	<۲
So-۰۰۸	چشمه بش قارداش	$۱۰٫۲۰ \pm ۰٫۷۰$
Sh-۰۰۹	چشمه های شه میرزاد	$۹٫۹۵ \pm ۰٫۷۰$
Ka-۰۱۰	چشمه های سهند	$۲٫۵۰ \pm ۰٫۱۷$
Ko-۰۱۱	-	<۲
Go-۰۱۲	چشمه بش قارداش	$۱۲٫۳۴ \pm ۰٫۸۶$
Ni-۰۱۳	چشمه الموت و طالقان	$۲٫۳۰ \pm ۰٫۱۶$
Da-۰۱۴	-	$۲٫۷۸ \pm ۰٫۲۱$

میانگین غلظت  $^{226}\text{Ra}$  در آب‌های معدنی بطری شده  $۴٫۷۳ \pm ۱٫۲۴$



## References:

1. Michael, E. Kitto, Pravin P. Parkh, Miguel A. Torres, Dominik Schnerider, "Radionuclide and chemical concentrations in mineral water at saratoga springs, New York," *Journal of Environmental Radioactivity* 80, 327-239 (2005).
2. J. Somlai, G. Horvath, B. Kanyar, T. Kovacs, E. Bodrogi, N.kavasi, "Concentration of  $^{226}\text{Ra}$  in Hungarian bottled mineral water," *Journal of Environmental Radioactivity* 235-240, 62 (2002).
3. C. Kralik, M. Friedrich, F. Vojir "Natural Radionuclides in bottled water in Austria," *Federal Institute for Food control and Research, A-1090 Vienna, Austria Journal of Environmental Radioactivity* 65, 233-241 (2003).
4. Abwasser und Klarschlamm, "Messanleitungen, für die Überwachung der Radioaktivität in Trinkwasser," *Institut für Wasser-Boden Und Lufthygiene Bundesgesundheitsamtes* (1983).
5. American Society for testing and material. Standard test method for water Annual book for ASTM standards, Vol. 11.01. D3370: Practices for sampling water.
6. "Determination of dissolved radium," Goldin, A.S, *Analytical chemistry* 331, 406-409 (1961).
7. M. Sohrabi, M. Beitollahi, S. Hafezi, M. Asefi, M. Bolourchi, *Health physics* "Effective dose to the public from  $^{226}\text{Ra}$  in drinking water supplies of Iran," 77(2): 150-153 (1999).
8. UNSCEAR Report to the General Assembly, Vol.1. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000).
9. Bottled Drinking Water laboratory Analysis Report Fiscal year 2001 Department of agriculture, Trade & Consumer Protection Division of Food Sapyely 2811 Agriculture Drive Madison WI 53708-8911.