

تعیین میزان پرتوزائی رادیوم-۲۲۶ در چشمه های آب گیلان با دو روش شمارنده سنتیلاسیون مایع و آزاد سازی گاز رادون

صدیقه جوزانی^{۱*}، مسعود وهابی مقدم^۱، سیما حافظی^۲، علی عطاری لری^۲
^۱ دانشگاه گیلان، رشت؛ ^۲ مدیریت حفاظت در برابر اشعه کشور، تهران

چکیده

بررسی میزان آلاینده های موجود در آب، به منظور کنترل کیفیت آن همواره مورد توجه بوده است و در این میان، موجودی مواد پرتوزا به واسطه افزایش سطح پرتوگیری افراد جامعه، از اهمیت ویژه ای برخوردارند. این مطالعه به کمک تکنیک شمارنده سنتیلاسیون مایع (Liquid Scintillation Counting; LSC)، به بررسی موجودی رادیوم-۲۲۶ در آب برخی از چشمه های استان گیلان پرداخته و برای بعضی از نمونه ها، داده های حاصل با مقادیر بدست آمده از روش سنتی و متداول آزادسازی گاز رادون (Radon-Emanation method) مقایسه گردیده است. جهت سنجش موجودی رادیوم نمونه های آب، دستگاه شمارنده Wallac-Quantulus 1220، ویال هائی از جنس پلی اتیلن با حجم ۲۰ میلی لیتر و مایع سنتیلاسیون Mineral Oil مورد استفاده قرار گرفت و زمان شمارش برای هر یک از نمونه ها، ۵۰۰ دقیقه در نظر گرفته شد. میزان پرتوزائی ^{226}Ra در چشمه های مطالعه شده با تکنیک LSC در گستره کمتر از MDA سیستم (14 mBq l^{-1}) تا 297 mBq l^{-1} بدست آمد که برای نمونه های مقایسه شده، سازگار با مقادیر بدست آمده از روش آزادسازی گاز رادون می باشد.

کلید واژه: پرتوزائی آب؛ رادیوم-۲۲۶؛ شمارنده سنتیلاسیون مایع؛ آزاد سازی گاز رادون؛ چشمه های آب شمال البرز

مقدمه

آب از مهمترین منابع زیست محیطی می باشد و بررسی آلاینده های موجود در آن، از جمله مواد پرتوزای طبیعی، همواره مورد توجه بوده است. پرتوگیری طولانی مدت از مواد پرتوزا در آب آشامیدنی می تواند خطر ابتلا به سرطان را افزایش دهد [۱]؛ از اینرو بررسی این دسته از آلاینده ها همواره توسط سازمان های جهانی و ملی توصیه می گردد.

بررسی ایزوتوپ های رادیوم در آب بدلیل سمیت پرتوزائی (radiotoxicity) از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. ایزوتوپ رادیوم-۲۲۶ (^{226}Ra) با نیمه عمر ۱۶۲۲ سال، از جمله مهمترین آلاینده های موجود در آب است که از واپاشی ^{238}U حاصل شده و با گسیل تابش آلفا به گاز نادر رادون (^{222}Rn) فروپاشی می کند.

* ajowzaee@gmail.com

رادایوم-۲۲۶ در آب انحلال پذیر بوده و بسته به نوع صخره ها و سنگ های موجود، به میزان متفاوت در چشمه های آب یافت می شود [۲] و [۳].

روش های مختلفی برای تعیین موجودی رادیوم-۲۲۶ در آب وجود دارد که از مهمترین آن ها می توان به روش غیر مستقیم اندازه گیری رادیوم به کمک آزادسازی گاز رادن اشاره نمود [۴]. بعلاوه امروزه کاربرد سیستم شمارش سنتیلاسیون مایع به عنوان روش جدیدی برای تعیین میزان پرتوزائی رادیوم در نمونه های آب مورد توجه قرار گرفته است [۵].

روش کار

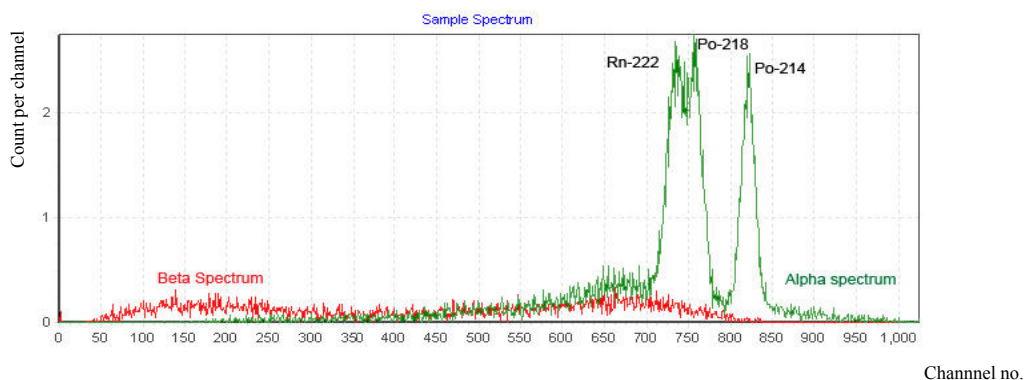
منطقه مورد مطالعه این پژوهش، استان گیلان واقع در حاشیه جنوب غربی دریای خزر می باشد. با توجه به مطالعات بعمل آمده، ۲۷ چشمه که ذبی مداوم سالانه داشته و در مقام مقایسه، احتمال استفاده از آن ها بیشتر بوده است در مسیر های ماسال، دیلمان و اشکورات، انتخاب و نمونه آب آن ها جمع آوری شد. به منظور جلوگیری از پلیمریزاسیون و از دست رفتن هسته های پرتوزا، نمونه های آب تهیه شده، در محل به کمک اسید کلریدریک تا pH حدود ۲ اسیدی و سپس جهت آنالیز به آزمایشگاه منتقل گردیدند.

الف) روش شمارنده سنتیلاسیون مایع (LSC)

روش LSC بر خلاف روش های قدیمی، نیاز به مراحل آماده سازی طولانی ندارد. در این روش برای تعیین موجودی ^{226}Ra در آب، از پرتوزایی دختر آن، ^{222}Rn استفاده می شود. در ابتدا به منظور افزایش حساسیت و کاهش زمان شمارش، نمونه های آب با تبخیر کند تا ۱۰ بار تغلیظ شدند. در این مرحله، pH نمونه ها به حدود ۱/۵ کاهش یافته و تمام رادن موجود در آب آزاد گردید. پس از رسیدن دمای نمونه به دمای اتاق، ۱۰ میلی لیتر از نمونه های آب آماده شده به کمک سرنگ در زیر ۱۰ میلی لیتر از مایع سنتیلاسیون نوع Mineral Oil در یک ویال پلی اتیلنی ۲۰ میلی لیتری تزریق شد و به این ترتیب وضعیت دو فازای ایجاد گردید که شامل فاز آبی نمونه در پایین و فاز آلی مایع سنتیلاسیون در بالا بود. به منظور رشد رادن ناشی از ^{226}Ra موجود در آب و برقراری تعادل پرتوزا بین ^{226}Ra و ^{222}Rn ، نمونه ها به مدت ۲۱ روز نگهداری شدند. پس از این مدت با تکان دادن ویال محتوی نمونه، تمام رادن موجود، به فاز آلی مایع سنتیلاسیون منتقل گردید. برای برقراری تعادل بین رادن و دختران کوتاه عمر آن، نمونه های آماده شده به مدت ۳-۴ ساعت نگهداری شده و سپس به مدت ۵۰۰ دقیقه در دستگاه LSC مدل Quantulus 1220 مورد شمارش قرار گرفتند.

جهت کالیبراسیون، نمونه استاندارد در شرایط مشابه با نمونه های اصلی آماده شد که در آن مقدار مشخصی از محلول استاندارد ^{226}Ra با اکتیویته معین به ۱۰ میلی لیتر از آب مقطر در pH حدود ۱/۵ در یک ویال پلی اتیلنی تزریق، و سپس ۱۰ میلی لیتر از مایع سنتیلاسیون Mineral Oil به آن افزوده شد. برای برقراری

تعدادل پرتوزا بین ^{226}Ra و رادن، نمونه آماده شده، به مدت ۲۱ روز نگهداری و پس از آن، به مدت ۵۰۰ دقیقه در دستگاه LSC مورد شمارش قرار گرفت. طیف مربوط به این نمونه در شکل (۱) نمایش داده شده است. همچنین برای تعیین میزان تابش زمینه نیز ۱۰ میلی لیتر از آب مقطر در pH حدود ۱/۵ تنظیم و در زیر ۱۰ میلی لیتر از مایع سنتیلاسیون Mineral Oil موجود در یک ویال پلی اتیلنی تزریق شد و به مدت ۵۰۰ دقیقه در دستگاه LSC شمارش گردید. کمترین حد آشکارسازی سیستم (MDA) برای اندازه گیری موجودی ^{226}Ra آب در این روش، 14 mBq l^{-1} بوده است.



شکل (۱): طیف مربوط به نمونه استاندارد آماده شده برای آنالیز ^{226}Ra

برای آنالیز نمونه های شمارش شده در دستگاه LSC، طیف های بدست آمده، در نرم افزار موجود بررسی شد و با در نظر گرفتن کانال های بهینه، میزان شمارش در ثانیه (cps) برای هر یک از نمونه ها تعیین گردید. به این ترتیب، میزان پرتوزائی ^{226}Ra در نمونه های آب با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$A = \frac{S_{net}}{V \times C.F.} \quad (1)$$

که در آن A، میزان پرتوزائی ^{226}Ra بر حسب Bq l^{-1} ، S_{net} آهنگ شمارش خالص نمونه بر حسب cps، V حجم نمونه آب مورد استفاده بر حسب لیتر و C.F. فاکتور تبدیل آهنگ شمارش خالص نمونه به پرتوزائی بر حسب cps Bq^{-1} (با استفاده از آهنگ شمارش خالص و میزان پرتوزائی معین نمونه استاندارد) می باشد. برخی از پارامترهای مطرح در دستگاه LSC و نرم افزار آنالیز، در جدول (۱) ثبت گردیده است.

جدول (۱): پارامترهای مطرح در دستگاه شمارنده سنتیلاسیون مایع برای آنالیز ^{226}Ra

| | حجم نمونه (ml) | مدت زمان اندازه-گیری (min) | کانال/ پنجره اندازه گیری | طیف | تابش زمینه (cpm) | بازده (%) | MDA (mBq l^{-1}) |
|-------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------|---------------------|-----------|--------------------------------|
| ^{226}Ra | 10 | 500 | 575-1000 | β | 0.298 | 366 | 14 |
| | | | 700-850 | α | 0.374 | | |

ب) روش آزاد سازی گاز رادن

در این روش نیز ^{226}Ra بطور غیر مستقیم با اندازه گیری دختر خود، ^{222}Rn سنجش می گردد. برای آماده سازی نمونه ها، در ابتدا حجم ۲ لیتر از آب به کمک اسید کلریدریک تا pH حدود ۲ اسیدی و پس از طی مراحل رادیوشیمیایی نسبتاً طولانی و به کمک حامل های سرب و باریوم، ^{226}Ra موجود در آن رسوب داده شد. پس از جمع آوری رسوب رادیوم و شستشو، این رسوب در آمونیاک حل شده و محلول حاصل به داخل بابلر منتقل گردید. سپس به کمک گاز ازت، ^{222}Rn موجود در آن خارج، و نمونه های آماده شده به مدت ۲۱ روز به منظور رشد رادن از ^{226}Ra و برقراری تعادل پرتوزا بین آن ها نگهداری شدند. پس از این مدت، رادن رشد یافته از رادیوم در بابلر، به کمک گاز ازت به داخل سلول لوکاس منتقل شده و پس از ۳-۴ ساعت برای برقراری تعادل پرتوزا بین رادن و دختران کوتاه عمر آن، به کمک یک لامپ تکثیر کننده فوتون مدل SAC-R5 شرکت Eberline به مدت ۵۰ دقیقه شمارش گردید.

به منظور تعیین تابش زمینه، هر سلول لوکاس در وضعیت خالی از گاز رادن مورد شمارش قرار گرفت. در این روش، کمترین حد آشکارسازی سیستم شمارنده تقریباً برابر 2 mBq l^{-1} بوده است. به این ترتیب، میزان پرتوزائی ^{226}Ra به کمک رابطه (۲) محاسبه گردید:

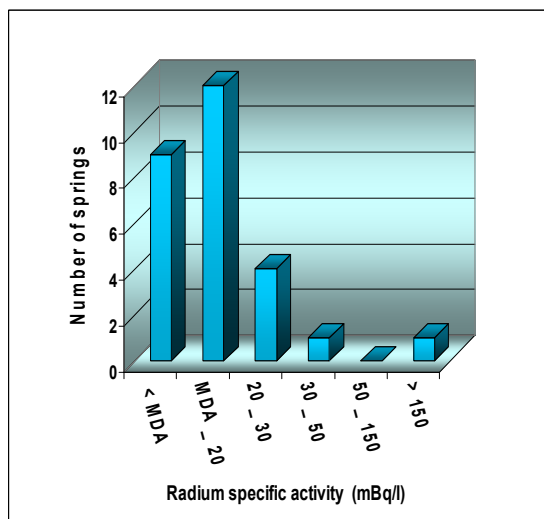
$$A = \frac{S_s - S_b}{R_c \times C_R \times V} \times \frac{1}{1 - e^{-\lambda t_1}} \times \frac{1}{e^{-\lambda t_2}} \times \frac{\lambda t_3}{1 - e^{-\lambda t_3}} \quad (2)$$

که در آن A، میزان پرتوزائی ^{226}Ra بر حسب Bq l^{-1} ، S_s آهنگ شمارش نمونه بر حسب cps، S_b آهنگ شمارش زمینه بر حسب cps، R_c فاکتور تصحیح یا ثابت کالیبراسیون بر حسب cps Bq^{-1} (برابر ۲/۶۴۵)، C_R بازده شیمیایی (برابر ۰/۹۰)، V حجم نمونه آب مورد استفاده بر حسب لیتر، λ ثابت واپاشی ^{222}Rn ، t_1 مدت زمان رشد رادن در بابلر، t_2 مدت زمان لازم برای برقراری تعادل بین گاز رادن با محصولات واپاشی خود و t_3 مدت زمان شمارش نمونه می باشد.

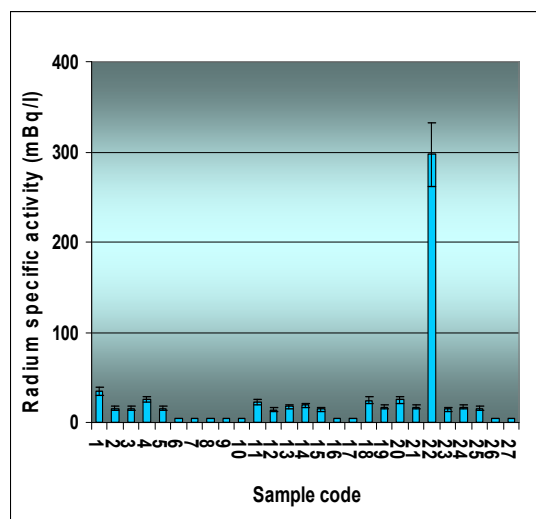
نتایج

نتایج بدست آمده از آنالیز چشمه های مورد مطالعه با روش LSC، بصورت نمودار موجودی ^{226}Ra و نمودار فراوانی موجودی ^{226}Ra به ترتیب در شکل های (۲) و (۳) نمایش داده شده است. بر اساس نمودار (۲)، میزان پرتوزائی ^{226}Ra در چشمه های مطالعه شده، در گستره کمتر از MDA سیستم (14 mBq l^{-1}) تا 297 mBq l^{-1} می باشد. با توجه به نمودار (۳)، تعداد قابل ملاحظه ای از چشمه ها، موجودی ^{226}Ra در گستره 20-MDA mBq l^{-1} دارند.

بررسی های به عمل آمده حاکی از آن است که در همه چشمه های مورد مطالعه، موجودی ^{226}Ra ، کمتر از حد استانداردهای جهانی برای ماکزیمم مقدار مجاز آن در آب آشامیدنی (740 mBq l^{-1}) می باشد [۱] و با



شکل (۳): نمودار فراوانی موجودی ^{226}Ra در نمونه های آب



شکل (۲): نمودار موجودی ^{226}Ra در نمونه های آب

توجه به مصرف آشامیدنی آب برخی از آن ها توسط مردم منطقه، چشمه ها از نظر موجودی رادیوم از حدود نسبتاً مناسبی برخوردارند.

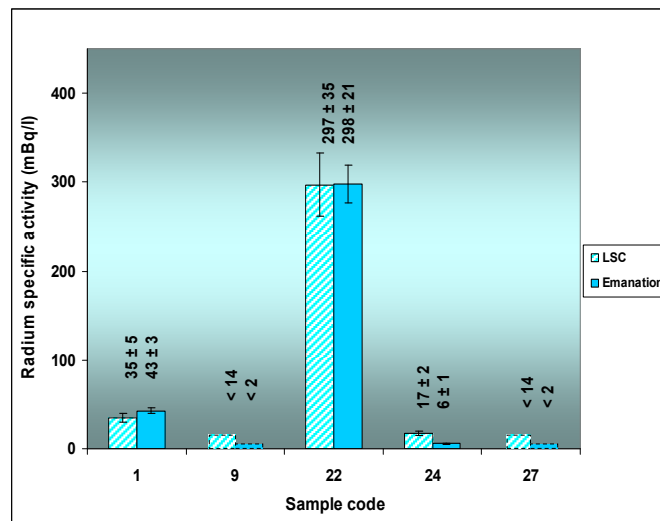
همچنین بررسی های انجام شده بر روی نقشه های زمین شناسی منطقه نشان داد که چشمه شماره ۲۲ با موجودی نسبتاً بالای رادیوم در منطقه ای با بستر کانی Syenite قرار دارد. این کانی از دسته سنگهای آذرین بوده و از نظر ساختار، مشابه گرانیت است و بدلیل موجودی بالای اورانیوم در این نوع از کانی ها، غلظت بالای ^{226}Ra بدست آمده در این چشمه قابل توجیه می باشد.

شکل (۴) مقایسه بین نتایج موجودی ^{226}Ra در نمونه آب برخی از چشمه ها را با کمک دو روش شمارنده سنتیلاسیون مایع و آزادسازی گاز رادون نمایش می دهد. مقایسه نتایج بدست آمده برای ۵ نمونه به کمک دو روش LSC و آزادسازی گاز رادون، نشان می دهد که توافق و هماهنگی نسبتاً خوبی بین این دو روش آنالیز وجود دارد.

اگرچه در روش آزادسازی گاز رادن، مقدار MDA پایین تری بدست آمده است اما باید توجه داشت که با افزایش میزان تغلیظ نمونه اولیه و نیز افزایش زمان شمارش در روش LSC می توان به مقدار MDA پایین تر از روش فوق دست یافت.

بحث و نتیجه گیری

کاربرد شیوه شمارش سنتیلاسیون مایع برای تعیین موجودی رادیوم، روشی سریع و ساده برای آنالیز نمونه های آب می باشد. این روش در مقایسه با روش های قدیمی که شامل مراحل رادیوشیمیایی طولانی برای آماده سازی و آنالیز نمونه ها بوده و بسیار زمانبر و پرهزینه می باشند؛ نیاز به مراحل آماده سازی



شکل (۴): مقایسه نتایج بدست آمده از موجودی ^{226}Ra نمونه های آب با دو روش LSC و آزادسازی گاز رادن

خاصی نداشته و به کمک دستگاه LSC می توان تعداد زیادی از نمونه ها را بطور خودکار و بدون دخالت اپراتور مورد شمارش قرار داد. این روش از نظر هزینه نیز به صرفه بوده و علاوه بر موارد ذکر شده، بدلیل حجم کم نمونه مورد نیاز، برای بررسی های گسترده محیطی مناسبتر می باشد.



مراجع

- [۱]. USEPA (United states Environmental Protection Agency), Ground Water& Drinking Water, Radionuclides in Drinking Water, http://www.epa.gov/safe_water/standard/pp/radnucpp.html
- [۲]. Bonotto, D.M., Doses from ^{222}Rn , ^{226}Ra and ^{228}Ra in ground water from Guarani aquifer, South America. J. Environ. Radioactivity 76, 319-335, 2004.
- [۳]. Rusconi, R., Azzellino, A., Bellinzona, S., Forte, M., Gallini, R., Sgorbati, G., Assessment of Drinking Water Radioactivity Content by Liquid Scintillation Counting: Set Up of High Sensitivity And Emergency Procedures. J. of Analytical and Bioanalytical Chemistry 379 (2), 247-253, 2004.
- [۴]. ASTM (American Society for Testing and Materials) D 3454, Standard Test Method for Radium-226 in Water, 1997.
- [۵]. Forte, M., Rusconi, R., Bellinzond, S., Sgorbati, G., Natural Radionuclides Monitoring in Lombardia Drinking Water by Liquid Scintillation Technique, Proc. Symp. Firenze. 2002.