



مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۷، شماره ۱، زمستان ۱۳۹۷

ارزیابی میزان پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در آب‌های معدنی و آشامیدنی

شهرستان سرعین

شیوا جباری^۱، بهرام سلیمی^۲، علی بهرامی سامانی^{۲*} و سیمیندخت شیروانی آرانی^۲

^۱دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، تهران، ایران.

^۲پژوهشکده مواد و سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران.

*تهران، سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده مواد و سوخت هسته‌ای، کدپستی: ۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳

پست الکترونیکی: asamani@aeoi.org.ir

چکیده

هدف اصلی این پژوهش، تعیین و اندازه‌گیری میزان پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در آب‌های معدنی و آشامیدنی شهرستان سرعین می‌باشد. دستورالعمل مورد استفاده برای نمونه‌برداری و آنالیز پرتویی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ به ترتیب، استاندارد ASTM:D 5072-09 و ISO 13165-1:2013 بوده است. اندازه‌گیری میزان غلظت رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در نمونه‌های آب معدنی و آشامیدنی به روش شمارش سوسوزن مایع^۱ انجام پذیرفت. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که محدوده پرتوزایی رادون-۲۲۲ در نمونه‌های آب معدنی ۶۷۱-۱/۱۴ Bq/L و برای نمونه‌های آب شرب در محدوده ۹/۷۲-۴/۲۵ Bq/L می‌باشد. همچنین میزان پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ در نمونه‌های آب معدنی در محدوده ۰/۲۴۸-۰/۰۴۸ Bq/L و در نمونه‌های آب شرب در محدوده ۰/۰۷۸-۰/۰۴۴ Bq/L تعیین گردید. در نتیجه میزان پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در همه نمونه‌های منابع آب آشامیدنی کمتر از حد مجاز می‌باشد. البته در برخی از چشمه‌ها که عده کمی از مردم به‌عنوان آب آشامیدنی استفاده می‌کنند، میزان پرتوزایی رادون-۲۲۲ بالاتر از حد استاندارد مشاهده شد. با این نتایج، به نظر می‌رسد برای کنترل میزان آلودگی منابع آب شرب شهر سرعین به رادیونوکلیدهای رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ می‌توان با روش ارائه شده و با برنامه مدونی این منابع را مورد ارزیابی و نظارت قرار داد.

کلیدواژگان: رادون-۲۲۲، رادیوم-۲۲۶، شمارش سوسوزن مایع، آب‌های معدنی و آشامیدنی، شهر سرعین.

^۱ Liquid Scintillation Counting (LSC)

۱. مقدمه

رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ از نظر طبقه‌بندی، در دسته نخست مواد سرطان‌زا قرار دارند و آلودگی ناشی از مواد رادیواکتیو همچون رادون و رادیوم در کیفیت آب آشامیدنی و معدنی تأثیر بسزایی دارد [۱]. با توجه به اینکه گاز رادون و رادیوم عامل اصلی سرطان‌های دستگاه تنفسی و گوارشی است و از طرفی مقداری از گازهای رادون و رادیوم از خاک و صخره‌ها متصاعد شده و در آب‌های شرب و معدنی، حل و از طریق آشامیدن و چرخه‌ی غذایی به بدن موجودات زنده وارد می‌شود؛ لذا مطالعه و بررسی میزان پرتوگیری و اثرات بیولوژیکی ناشی از پرتوگیری گاز رادون و رادیوم از اهمیت بالایی در بهداشت عمومی جامعه برخوردار بوده و تلاش برای کاهش پرتوگیری ناشی از این آلودگی‌ها، گامی مؤثر در بهداشت جامعه است [۲].

سنجش و بررسی میزان پرتوزایی یا میزان دز دریافتی افراد جامعه ناشی از وجود عناصر رادیواکتیو طبیعی و مصنوعی در محیط پیرامون از جمله خاک، هوا و آب و بررسی اثرات زیست‌محیطی آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا به طور مداوم نتایج اندازه‌گیری‌های دز پرتوی دریافتی در بیشتر کشورها اعلام می‌گردد. اگر غلظت رادون در منابع آب آشامیدنی مصرفی مردم از 10 Bq/L بیشتر شود، این منابع باید کنترل شوند. هر منبع جدید آب آشامیدنی با منشأ آب زیرزمینی قبل از استفاده باید آزمایش شود. اگر غلظت رادون بیش از 10 Bq/L باشد، با تصفیه منبع آب باید میزان رادون را به کمتر از این مقدار رساند. اگر به میزان قابل توجهی مواد تولیدکننده رادون پیرامون منبع آب وجود دارد بهتر است که این منابع به صورت دوره‌ای آزمایش شوند [۳].

در کشورهای پیشرفته همچون آمریکا، کانادا، فرانسه و ... سازمان‌های زیادی در زمینه تحقیقات مستمر آلودگی‌های

رادیواکتیوی آب‌های آشامیدنی و معدنی فعالیت دارند، اما در کشورهای در حال توسعه، به این مسئله کمتر توجه شده است [۴]. در ایران نیز به منظور بررسی پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ در آب‌های آشامیدنی توسط نظام ایمنی هسته‌ای کشور آزمایشات جامعی در استان‌های مختلف انجام شده است که بر اساس نتایج آن $88/2\%$ آب‌های آشامیدنی کشور پرتوزایی بالاتر از $10-2 \text{ mBq/L}$ دارد و تنها $0/5$ درصد آن‌ها دارای پرتوزایی بالاتر از 110 mBq/L می‌باشند [۵]. با این حال مطالعات مختلف نشان می‌دهد که در مناطقی مانند رامسر، تالش و ... مقادیر قابل توجهی از رادیونوکلئیدهای طبیعی همچون رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در منابع آب زیرزمینی و چشمه‌های آبگرم وجود دارند [۶].

شهر سرعین، یکی از مناطق مهم گردشگری استان اردبیل است و چشمه‌های معدنی آبگرم و مراکز آب درمانی سرعین، مهم‌ترین انگیزه‌ی سفر توریست‌ها به این شهر می‌باشد. همچنین ساکنین بومی این منطقه بطور مداوم با آب آشامیدنی و چشمه‌های معدنی این شهر در ارتباط هستند. از طرفی با توجه به کوهستانی و سردسیر بودن منطقه اردبیل، در سال‌های اخیر تمایل بسیاری جهت مسقف‌سازی چشمه‌های آبگرم معدنی مشاهده شده است و از آنجایی که گاز رادون محلول در آب، به راحتی می‌تواند از محیط آبی وارد هوای پیرامون خود شود و در صورت تجمع و عدم تهویه‌ی مناسب به مرور زمان بر مقدار آن افزوده شده و به محدوده خطرناکی از پرتوزایی برسد، لذا بررسی و مطالعه‌ی پرتوزایی گاز رادون و رادیوم موجود در منابع آب این شهر ضروری می‌باشد.

بدین منظور در این پژوهش پس از نمونه‌برداری از برخی چشمه‌های آب آشامیدنی و معدنی، غلظت رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در نمونه‌ها اندازه‌گیری و میزان پرتوزایی این

۲.۲. روش‌های نمونه‌برداری

در این پژوهش هدف اندازه‌گیری پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ موجود در آب‌های آشامیدنی و معدنی منطقه سرعین می‌باشد. از آنجایی که چگونگی نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها برای اندازه‌گیری پرتوزایی این دو رادیونوکلید متفاوت است، لازم است که در مکان‌های انتخاب‌شده برای نمونه‌برداری به دو صورت مختلف نمونه‌برداری انجام شود. رادون در آب محلول می‌باشد و غلظت آن در آب به طور قابل ملاحظه‌ای متغیر است. رادون به واسطه انتشار مولکولی، از آب به آهستگی خارج می‌شود، ولی بهم‌زدن و گرم کردن آب باعث تسریع در آزادسازی گاز رادون و انتقال آن به محیط می‌شود. به منظور جلوگیری از خروج گاز رادون از آب جهت اندازه‌گیری دقیق غلظت پرتوزایی، باید به روش زیر نمونه‌برداری صورت گیرد.

برای هر منبع آبی، درون ویال‌های پلی‌اتیلنی ۲۰ میلی‌لیتری، به مقدار ۱۰ میلی‌لیتر مایع سوسوزن روغن معدنی ریخته می‌شود. حلالیت بالای رادون در حلال‌های خاصی همچون روغن معدنی^۱ موجب شده است که اندازه‌گیری رادون در آب بسیار با بازده و دقت بالایی انجام گیرد. در محل نمونه‌برداری با استفاده از سرنگ ۱۰ میلی‌لیتر نمونه از آب منبع مورد نظر به آرامی زیر مایع سوسوزن تزریق می‌گردد. هیچ تلاطمی نباید در زمان تزریق آب در داخل ویال به وجود بیاید. نمونه‌ها در حداقل زمان به آزمایشگاه شمارش دستگاهی منتقل می‌شوند و بعد از شمارش تصحیح زمانی (از زمان نمونه‌برداری تا زمان شمارش) بر روی هر نمونه اعمال می‌گردد.

نمونه آب وقتی با مایع سوسوزن روغن معدنی با بازده بالا استفاده می‌شود فاز جداگانه‌ای به وجود می‌آید، به طوری که فاز

رادیونوکلیدها در منابع آب مشخص گردیده است و به‌منظور تصمیم‌گیری صحیح از داده‌های حاصل در زمینه‌ی اندازه‌گیری پرتوزایی مواد رادیواکتیو، با حد مجاز پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ مقایسه شده است. حد مجاز پرتوزایی در آب آشامیدنی برای رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ توسط سازمان بهداشت جهانی و سازمان محیط زیست آمریکا در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱): حد مجاز پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در آب

آشامیدنی [۷]

رادون-۲۲۲	نماد رادیونوکلید	حد مجاز پرتوزایی
۲۲۲	²²² Rn	۱۱/۱ Bq/L
۲۲۶	²²⁶ Ra	۰/۱۸۵ Bq/L

۲. روش کار

۱.۲. مواد و روش‌ها

لازمه اندازه‌گیری میزان پرتوزایی نمونه‌های آب حاوی مواد رادیواکتیو از طریق شمارش سوسوزن مایع، نمونه‌برداری صحیح، آماده‌سازی نمونه‌ها، به‌کارگیری دستگاه شمارش و ... می‌باشد. نیتریک اسید غلیظ، محلول استاندارد رادیوم-۲۲۶ ساخت شرکت زچ^۱ و مایع سوسوزن^۲ روغن معدنی ساخت شرکت پرکین المر^۳ خریداری شد. اندازه‌گیری پرتوزایی نمونه‌های آب توسط دستگاه شمارشگر سوسوزن مایع مدل Quantulus 1220 انجام شد. برای تعیین میزان پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در آب‌های معدنی و آشامیدنی به-ترتیب طبق روش‌های استاندارد ASTM D 5072-09 و ISO 13165-1:2013 اقدام گردید [۸ و ۹].

¹ CZECH

² Scintillator

³ Perkin Elmer

⁴ Mineral Oil

مقدار رادیوم-۲۲۶ موجود در آب اندازه‌گیری می‌شود. شمارش سوسوزن مایع با استفاده از کوکتل روغن معدنی، برای تعیین غلظت پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ در آب، به‌طور غیرمستقیم از طریق شمارش دختران رادون-۲۲۲ صورت می‌گیرد. این تکنیک برخلاف روش‌های قدیمی، نیاز به مراحل آماده‌سازی طولانی مدت ندارد و شامل مراحل زیر است [۱۰]:

۱. نخست به‌منظور افزایش حساسیت و کاهش زمان شمارش، حجم مشخصی از نمونه‌های آب اسیدی‌شده اولیه با pH در حدود ۲/۵ با تبخیر کند ملایم تا مرحله خشک شدن تغلیظ می‌شوند. با ادامه هم‌زدن هم‌زمان حین تبخیر، تمامی رادون موجود در آب آزاد می‌شود و از محلول خارج می‌گردد.
۲. نمونه آب موجود در بشر خشک شده و پس از رسیدن به دمای اتاق، مواد باقیمانده در بشر با ۱۰ میلی‌لیتر محلول نیتریک اسید ۰/۱ مولار شسته شده و داخل ویال مخصوص ۲۰ میلی‌لیتری سوسوزن مایع ریخته می‌شود و مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از کوکتل روغن معدنی به آن اضافه می‌گردد. به این ترتیب وضعیت دو فاز ایجاد می‌شود که در پایین، فاز آبی نمونه‌های آب و در بالا، فاز آلی مایع سوسوزن شکل می‌گیرد.
۳. به‌منظور رشد درونی رادون ناشی از رادیوم-۲۲۶ موجود در آب و برقراری تعادل پرتوزا بین رادیوم-۲۲۶ و رادون-۲۲۲، نمونه‌ها به مدت ۳۰ روز نگهداری می‌شوند.
۴. پس از این مدت، ویال محتوی نمونه تکان داده می‌شود تا تمام رادون موجود به فاز آلی مایع سوسوزن منتقل شده و برای برقراری تعادل بین رادون و دختران کوتاه عمر آن، به مدت ۳ ساعت نگهداری و پس از آن به مدت ۲۴۰ دقیقه در دستگاه LSC مورد شمارش قرار می‌گیرند.

پایینی محلول آب و فاز بالایی مایع سوسوزن می‌باشد. کوکتل^۱ روغن معدنی با آب غیرقابل اختلاط بوده و رادون موجود در نمونه آب بطور کامل در مدت زمان ۳ ساعت به فاز کوکتل روغنی منتقل شده و با دخترانش به تعادل می‌رسد. پس از آن، توسط دستگاه شمارشگر سوسوزن مایع مورد شمارش قرار می‌گیرد.

نمونه‌برداری منابع آبی برای تعیین غلظت و پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ به شرح زیر می‌باشد:

۱. بطری پلاستیکی و یا شیشه‌ای را با آب زلال و تمیز چشمه، شیر آب و یا آبراهه پر می‌شود. در این مرحله لازم نیست که بطری کاملاً تا لبه پر شود، بلکه لازم است قسمت بالایی بطری خالی بماند تا بتوان اسید به آن اضافه نمود.
۲. بادستگاه pH متر، مقدار pH آب اندازه‌گیری گردد.
۳. برچسب مشخصات، بر روی هر یک از بطری‌های پلاستیکی ۰/۵ لیتری چسبانده شود.
۴. برای جلوگیری از چسبیدن رادیونوکلیدهای موجود به دیواره ظروف، جلوگیری از هرگونه فعالیت بیولوژیکی، جلوگیری از رسوب نمودن، جلوگیری از پلیمریزاسیون و همچنین جلوگیری از تشکیل کلونید، مقداری نیتریک اسید غلیظ به هر بطری اضافه می‌شود تا pH به حدود ۲/۵ برسد.

۳.۲. آماده‌سازی و شمارش

نمونه‌های آب چشمه‌ها و آب‌های آشامیدنی پس از انتقال به آزمایشگاه، جهت جداسازی ذرات و مواد معلق احتمالی موجود در آب از صافی‌های کاغذی عبور داده می‌شوند، سپس

¹ Cocktail

میزان شمارش نمونه‌های استاندارد مرجع مورد کالیبراسیون قرار گیرد و فاکتور کالیبراسیون $(CF)^2$ به‌دست آید. فاکتور تبدیل محاسبات از رابطه زیر حاصل می‌شود [۸]:

$$CF = \frac{C_{CS} - C_B}{A_{CS}} \quad (1)$$

که در آن C_{CS} شمارش پرتوزایی نمونه استاندارد در واحد زمان (cps)، C_B شمارش پرتوزایی زمینه در واحد زمان (cps) و A_{CS} میزان پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ نمونه استاندارد است.

بدین منظور برای محاسبه‌ی فاکتور کالیبراسیون و تعیین غلظت رادون و رادیوم موجود در آب‌های معدنی و آشامیدنی از محلول استاندارد رادیوم-۲۲۶ ساخت شرکت زچ استفاده شد که مشخصات نمونه استاندارد رادیوم-۲۲۶ در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول (۲): مشخصات محلول استاندارد رادیوم-۲۲۶ ساخت شرکت

CZECH Metrology Institute

نام	محلول استاندارد رادیوم-۲۲۶
جرم	۴/۹۱۷۴ gr
غلظت رادیوم-۲۲۶	۰/۹۱۵۲ µg/g
جرم رادیوم-۲۲۶	۴/۵ µg
پرتوزایی کل	$۱/۶۴۶ \times 10^6$ Bq

به‌منظور کالیبراسیون، نمونه‌های استاندارد با غلظت‌های مختلف و معلوم در شرایط مشابه با نمونه‌های اصلی آماده شدند که با استفاده از شمارش‌های به‌دست آمده برای پرتوزایی نمونه‌های استاندارد رادیوم-۲۲۶ میزان فاکتور کالیبراسیون جهت اعمال در محاسبات عدد $۲/۷۳$ برای ۱۰ میلی‌لیتر محلول به‌دست آمد.

۲.۴.۲. اندازه‌گیری میزان پرتوزایی زمینه

برای تعیین میزان تابش زمینه، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از آب نمونه دوبار تقطیر شده که فاقد هرگونه گاز رادون-۲۲۲ و

داده‌های حاصل از شمارش دستگاه LSC به‌صورت طیف می‌باشد که با استفاده از نرم‌افزارهای موجود بررسی و با در نظر گرفتن کانال‌های بهینه، مقدار شمارش در ثانیه برای هر یک از نمونه‌ها تعیین می‌گردد و میزان پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در نمونه‌ها تعیین می‌شود. بهره‌مندی از دستگاه شمارش سوسوزن مایع به منظور تعیین غلظت و پرتوزایی مواد پرتوزا در نمونه‌ها نسبت به سایر روش‌ها دارای مزایایی است که عبارتند از:

- با این روش، امکان آنالیز همزمان نمونه حاوی ذرات آلفا و بتا به‌وجود آمده و زمان شمارش کاهش یافته است.
- در این روش، بازده و دقت تعیین برای نشردهنده‌های آلفا و نشردهنده‌ی بتای با انرژی بالا تقریباً نزدیک به ۱۰۰ درصد است.
- این روش، سریع بوده و امکان شمارش نمونه برای چندین بار وجود دارد. با شمارش یک نمونه برای چندین بار انحراف استاندارد، و خطای شمارش هم توسط دستگاه محاسبه می‌شود.
- توانایی تحلیل‌گر شکل پالس^۱ در دستگاه شمارشگر سوسوزن مایع، امکان جداسازی هم زمان قله‌های آلفا و بتا را از روی آنالیز شکل پالس‌های آن‌ها فراهم کرده و به‌عنوان یک روش مطمئن برای تعیین آلفا و بتای کل در بسیاری از آزمایشگاه‌های معتبر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۱].

۴.۲. محاسبات اندازه‌گیری پرتوزایی

۱.۴.۲. اندازه‌گیری فاکتور کالیبراسیون

جهت به‌دست آوردن اکتیویته دقیق نمونه‌ها با کمترین خطای ممکن ضروری است که سیستم با استفاده از تعیین

² Calibration Factor

¹ Pulse Shape Analyzer

۴.۴.۲. محاسبه کمترین حد آشکارسازی

کمترین حد آشکارسازی که با نماد MDA برحسب Bq/L نمایش داده می‌شود، عبارت است از: «حداقل غلظت پرتوزایی قابل آشکارسازی توسط دستگاه» این پارامتر از رابطه ۳ محاسبه می‌شود [۸]:

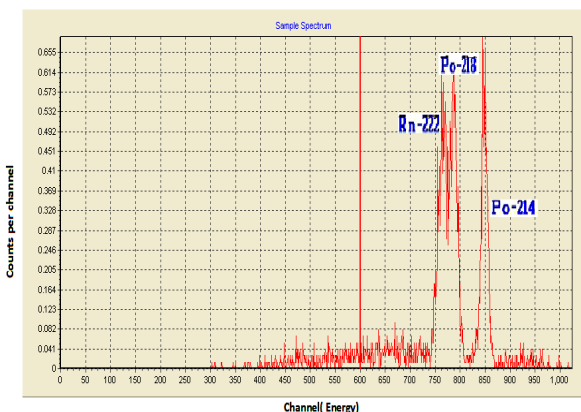
$$MDA = \frac{2.71}{t} + 4.65 \sqrt{\frac{C_B}{t}} \quad (3)$$

که در آن t مدت زمان شمارش پرتوزایی زمینه بر حسب ثانیه است. پس از جایگذاری مقادیر در این رابطه، مقدار MDA برای رادیوم-۲۲۶ با این روش برابر با $2/2 \text{ mBq/L}$ و برای رادیوم-۲۲۲ برابر با $0/5 \text{ Bq/L}$ به دست آمد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. نتایج حاصل از شمارش نمونه‌ها

در شکل ۱ نمونه‌ای از نحوه نمایش طیف و شمارش رادیونوکلئیدهای اندازه‌گیری شده توسط دستگاه شمارشگر سوسوزن مایع نشان داده شده است. این شکل مربوط به نمونه آب آشامیدنی قهوه سویی می‌باشد.



شکل (۱): نمونه طیف رادیونوکلئیدهای اندازه‌گیری شده توسط دستگاه شمارشگر سوسوزن مایع.

رادیوم-۲۲۶ است در شرایط مشابه با سایر نمونه‌ها و همراه با نمونه‌های استاندارد رادیوم-۲۲۶ به مدت ۲۴۰ دقیقه در دستگاه LSC مورد شمارش قرار می‌گیرد. در جدول ۳ نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقادیر پرتوزایی زمینه برای رادیوم-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ ارائه شده است.

جدول (۳): مقادیر پرتوزایی زمینه برای رادیوم-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶.

رادیونوکلید	تابش زمینه (cpm)
رادیوم-۲۲۲	۰/۸۴
رادیوم-۲۲۶	۱/۰۲

۳.۴.۲. اندازه‌گیری غلظت پرتوزایی رادیوم-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶

برای محاسبات غلظت رادیوم-۲۲۲ در آب بر حسب بکرل بر لیتر (Bq/L) از رابطه ۲ استفاده می‌شود [۸]:

$$A = \frac{C_S - C_B}{CF \times D \times V} \quad (2)$$

که در آن A غلظت پرتوزایی گاز رادیوم-۲۲۲ در نمونه، C_S شمارش پرتوزایی نمونه در واحد زمان (cps)، C_B شمارش پرتوزایی زمینه در واحد زمان (cps)، CF فاکتور کالیبراسیون محاسبات، D ضریب تصحیح واپاشی و V حجم نمونه برحسب لیتر است. برای تعیین غلظت پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ در آب توسط شمارش سوسوزن مایع با استفاده از کوکتل روغن معدنی، به طور غیرمستقیم از طریق شمارش دختران رادیوم-۲۲۲ صورت می‌گیرد. برای اندازه‌گیری پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ نمونه‌ها، توسط دستگاه LSC با در نظر گرفتن کانال‌های بهینه، مقدار شمارش در دقیقه (cpm) برای هر یک از نمونه‌ها از کانال انرژی ۶۰۰-۱۰۰۰ انتخاب شد. مقدار شمارش حاصل، ناشی از مجموع اکتیویته رادیوم-۲۲۲ و دخترانش (پولونیوم-۲۱۴ و پولونیوم-۲۱۸) است.

۲.۳. نتایج اندازه‌گیری و محاسبات پرتوزایی نمونه‌ها

با داشتن مقادیر پرتوزایی رادون-۲۲۲ موجود در نمونه‌های آبی، و محاسبه ضریب تصحیح واپاشی (D) ناشی از اختلاف زمان نمونه‌برداری و شمارش نمونه‌ها، با استفاده از رابطه ۱ میزان غلظت پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ نمونه‌ها، محاسبه می‌گردد. در جداول ۴ و ۵ مقادیر محاسبه شده غلظت پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در نمونه‌های آب معدنی و آشامیدنی شهر سرعین ارائه شده است.

جدول (۴): میزان غلظت پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ برای نمونه‌های آب معدنی.

ردیف	محل‌های نمونه‌برداری	پرتوزایی رادون-۲۲۲ (Bq/L)	پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ (Bq/L)
۱	آبگرم سبلان	۱/۹۴	۰/۱۰۳
۲	آبگرم گاومیش گلی	۶/۷۱	۰/۱۲۹
۳	آبگرم ژنرال	۲/۵۳	۰/۰۸۴
۴	آبگرم بش باجیلار	۱/۹۶	۰/۰۶۶
۵	آبگرم دره لر سویی	۵/۳۲	۰/۰۹۲
۶	آبگرم قهوه سویی	۵/۸۵	۰/۱۰۸
۷	آبگرم یل سویی	۲/۲۵	۰/۰۷۲
۸	آبگرم کوهستان	۱/۱۴	۰/۰۴۸
۹	آبگرم پهن‌لو	۱/۵۹	۰/۲۴۸
۱۰	آبگرم شهر آفتاب	۳/۵۵	۰/۰۶۳

جدول (۵): میزان غلظت پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ برای نمونه‌های آب آشامیدنی.

ردیف	محل‌های نمونه‌برداری	پرتوزایی رادون-۲۲۲ (Bq/L)	پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ (Bq/L)
۱	آشامیدنی گاومیش گلی	۶/۷۹	۰/۰۴۷
۲	آشامیدنی دره لر سویی	۶/۸۹	۰/۰۵۰
۳	آشامیدنی قهوه سویی	۵/۷۰	۰/۰۶۷
۴	آشامیدنی کوهستان	۴/۲۵	۰/۰۴۴
۵	آشامیدنی پهن‌لو	۹/۷۲	۰/۰۴۹
۶	آشامیدنی شهر آفتاب	۵/۷۰	۰/۰۴۸
۷	آشامیدنی آرتزین	۵/۹۲	۰/۰۷۸
۸	چشمه آشامیدنی آتشگاه	۸/۲۴	۰/۱۲۱
۹	چشمه آشامیدنی گوز سویی	۱۶/۰۵	۰/۰۲۷
۱۰	چشمه آشامیدنی گورگور	۴۶/۳۲	۰/۰۱۷

۳.۳. میزان پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در

آب‌های معدنی و آشامیدنی

طبق اندازه‌گیری‌های انجام‌شده، پرتوزایی رادون-۲۲۲ در نمونه‌های آب معدنی و چشمه‌های آبگرم شهرستان سرعین (۱۰ منطقه مختلف)، در محدوده‌ی $6/71 - 1/14$ Bq/L (کران پایین برای آبگرم کوهستان و کران بالا برای آبگرم گاومیش گلی) می‌باشد. همچنین پرتوزایی رادون-۲۲۲ در نمونه‌های آب آشامیدنی شهرستان سرعین (۷ منطقه مختلف)، در محدوده‌ی $9/72 - 4/25$ Bq/L (کران پایین برای آب شرب کوهستان و کران بالا برای آب شرب پهن‌لو) است. بدین ترتیب میانگین پرتوزایی رادون-۲۲۲ برای نمونه‌های آب شرب شهرستان سرعین برابر با $6/985$ Bq/L به‌دست می‌آید.

بررسی‌های انجام‌شده نشان دادند که پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ در کل نمونه‌های آب معدنی شهرستان سرعین، در محدوده‌ی $0/248 - 0/48$ Bq/L (کران پایین برای آبگرم کوهستان و کران بالا برای آبگرم پهن‌لو) بوده است. همچنین، پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ برای مجتمع آبگرم بستان‌آباد که به‌منظور مقایسه میزان پرتوزایی رادیوم با آب‌های معدنی شهرستان سرعین مورد بررسی قرار گرفت برابر با $0/261$ Bq/L می‌باشد. با این توضیحات، میانگین پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ برای نمونه‌های آب معدنی شهرستان سرعین حدود $0/1$ Bq/L تعیین گردید. پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ در نمونه‌های آب آشامیدنی (۷ منطقه مختلف شهرستان سرعین)، در محدوده‌ی $0/078 - 0/44$ Bq/L (کران پایین برای آب شرب کوهستان و کران بالا برای آب شرب آرتزین) می‌باشد و میانگین پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ نمونه‌های آب شرب برابر با $0/061$ Bq/L می‌باشد.

همان‌طور که مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با سایر کشورها و شهرهای مختلف ایران نشان می‌دهد (جدول ۶)، میزان میانگین رادون-۲۲۲ در آب آشامیدنی سرعین کمتر از

جدول (۶): مقایسه نتایج میزان پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در تحقیقات مختلف [۱۲-۲۰].

ردیف	نوع منبع آب / شهر	پرتوزایی رادون-۲۲۲ (Bq/L)	پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ (Bq/L)	مرجع
۱	آشامیدنی / مهریز	۰/۱۸۷-۱۴/۸	-	[۱۲]
۲	آشامیدنی / شیروان	۹/۷۴۹	۲/۰۹۲	[۱۳]
۳	آشامیدنی / نیشابور	۱۷/۹۹۱	-	[۱۴]
۴	آشامیدنی / تویسرکان	۸/۱۲۹	۱/۴	[۱۵]
۵	آشامیدنی / مشهد	۱۶/۲۳۸	-	[۱۶]
۶	آشامیدنی / تهران	۳/۷	-	[۱۷]
۷	آشامیدنی / رامسر	۳/۴۰۴	۰/۱۷۵	[۱۸]
۸	آشامیدنی / ترکیه	۱۰/۸۲	۰/۰۱۹	[۱۹]
۹	آشامیدنی / سرعین	۶/۹۸۵	۰/۰۶۱	*
۱۰	آبگرم / رامسر	۱-۱۴۸	۰/۰۸۶-۱۳۰/۰۸۰	[۱۱]
۱۱	آبگرم / برزیل	۱۲۰	۱/۸	[۲۰]
۱۲	آبگرم / سرعین	۱/۱۴-۶/۷۱	۰/۰۴۸-۰/۲۴۸	*

* نتایج حاصل از تحقیق حاضر

۴. نتیجه گیری

می توان گفت که اکثر چشمه های معدنی شهرستان سرعین از نوع گرم هستند و از آن جایی که تشکیلات زمین شناختی این منطقه تقریباً یکسان است و به صورت زمین های آبرفتی در مجاورت سنگ های آذرین خروجی از فعالیت آتشفشانی سبلان می باشند، تمامی این آب های معدنی و چشمه های آبگرم از لحاظ شیمیایی جزو آب های بی کربناته سدیک و کلروره کلسیک هستند و انتظار می رود که میزان اورانیوم طبیعی در این مناطق وجود داشته باشد [۲۱]. بدین ترتیب با توجه به تجزیه طبیعی اورانیوم، وجود رادیوم و رادون و دختران آن در چشمه های معدنی این شهرستان دور از انتظار نیست.

روش شمارش سوسوزن مایع، روشی سریع و ساده برای آنالیزهای مطرح در نمونه های آب شامل سنجش آلفا و بتای کل، رادون، رادیوم و اورانیوم بوده و می تواند به طور گسترده برای آنالیز نمونه های محیطی آب مورد استفاده قرار گیرد. این

ترکیه بوده و در بین شهرهای متفاوت ایران به جز تهران و رامسر از شهرهای ذکر شده مقدار کمتری دارد. همچنین مقایسه میزان رادیوم-۲۲۶ در آب های شرب سرعین با سایر شهرهای ایران که نظیر این آزمایش در آنها انجام شده نشان می دهد میزان آن در سرعین مقدار کمتری را به خود اختصاص داده است. ولی در مقایسه با کشور همسایه، ترکیه، میزان رادیوم-۲۲۶ در منابع آب آشامیدنی سرعین بیشتر است. به علاوه، همانطور که از مقایسه این نتایج با مقادیر حد مجاز پرتوزایی رادون-۲۲۲ و رادیوم-۲۲۶ در آب های آشامیدنی (جدول ۱) مشخص است، میزان پرتوزایی رادون-۲۲۲ در همه منابع آب آشامیدنی شهرستان سرعین، مقادیر پایین تری از حد مجاز (۱۱/۱ Bq/L) می باشد و میزان پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ نیز مقادیر کمتری نسبت به ۰/۱۸۵ Bq/L داشته و لذا می توان این اطمینان را داد که پرتوزایی در منابع آب آشامیدنی این شهر کمتر از حد مجاز بوده و از لحاظ کنترل آلودگی رادیونوکلیدی مقبولیت لازم را دارا می باشند. البته در بعضی از چشمه هایی که عده کمی از مردم به عنوان آب آشامیدنی استفاده می کنند میزان پرتوزایی رادون-۲۲۲ بالاتر از حد استاندارد مشاهده شد که برای کنترل میزان آلودگی چشمه های آب شرب می توان با روش ارائه شده به طور مداوم این منابع را مورد ارزیابی و نظارت بیشتری قرار داد.

همچنین در خصوص نتایج میزان رادیوم-۲۲۶ و رادون-۲۲۲ در چشمه های آبگرم، چنانچه در جدول ۶ مشاهده می شود مقدار این رادیونوکلیدها در چشمه های آبگرم سرعین به میزان قابل توجهی از چشمه های آبگرم رامسر و منطقه ای در برزیل پایین تر می باشد که نشان می دهد شهرستان سرعین در زمره مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا قرار نمی گیرد. چرا که یکی از مهم ترین عوامل ایجاد چنین مناطقی، وجود چشمه های آبگرم حاوی رادیونوکلیدهای پرتوزا و پخش آنها در مناطق اطراف است.

روش نیاز به آماده‌سازی خاصی نداشته و می‌توان تعداد زیادی از نمونه‌ها را در مدت زمان کوتاهی مورد آنالیز قرار داد. این گسترده محیطی بسیار مناسب باشد.

۵. مراجع

- [۱] ولیپور گشنیانی، نرجس. اندازه‌گیری رادون در فصل‌های مختلف سال در منابع آبی سواد کوه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور، دانشکده علوم پایه، (۱۳۸۸).
- [2] Y. Fakhri, A.H. Mahvi, G. Langarizadeh, Y. Zandsalimi, L. Rasouli, M. Kargosha, M. Moradi, B. Moradi and M. Mirzaei. Effective Dose of Radon-222 Bottled Water in Different Age Groups Humans: Bandar Abbas City, Iran, *Global Journal of Health Science*. 8(2) (2016) 64–71.
- [۳] هاشمی، سیدمهدی. نگارستانی، علی. میزان آهنگ دز موثر ناشی از گاز رادون در چشمه‌های آبگرم جوشان واقع در استان کرمان. مجله دانشگاه علوم پزشکی کرمان، ۱۸(۳)، (۱۳۹۰) ۲۷۹–۲۸۵.
- [۴] داوری، علی. اندازه‌گیری میزان رادون در آب شرب منطقه قاینات. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور، دانشکده علوم پایه، (۱۳۸۶).
- [۵] غیائی نژاد، مهدی. حافظی، سیما و همکاران. بررسی پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ در آبهای آشامیدنی ایران. نظام ایمنی هسته ای کشور، امور حفاظت در برابر اشعه، (۱۳۸۰).
- [۶] مختاری، مهدی. مصباح، اشرف السادات. بابایی، علی. بررسی راهکارهای حذف رادیواکتیویته طبیعی از آب آشامیدنی. ششمین همایش ملی بهداشت محیط، ساری، (۱۳۸۲).
- [7] Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. EPA, 822-F-18-001, (2018).
- [8] Standard test method for radon in drinking water, ASTM D5072-09, (2016).
- [9] Water quality radium-226, part1: test method using liquid scintillation counting. ISO 13165-1, (2013).
- [۱۰] غیائی نژاد، مهدی. بیت‌اللهی، مسعود. فلاحیان، نازآفرین. پرتوگیری از منابع طبیعی پرتوزا، اداره انتشارات سازمان انرژی اتمی ایران، (۱۳۷۹) ۳۷۹–۴۰۳.
- [۱۱] امیری، نرجس. سنجش غلظت گاز رادون در چشمه‌های آبگرم منطقه رامسر به روش سوسوزن مایع و سیستم‌های فعال. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، دانشکده علوم پایه، (۱۳۸۹).
- [۱۲] ملکوتیان، محمد. سلمانی مروست، حسن. تعیین میزان رادون موجود در آب شرب روستاهای شهرستان مهریز و تعیین دوز موثر جذبی سالانه. مجله تحقیقات سلامت، ۳(۴)، (۱۳۹۳) ۲۵۳–۲۶۰.
- [۱۳] مقدسی، اعظم. اندازه‌گیری میزان رادون آب شرب منطقه شیروان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام‌نور، دانشکده علوم گروه فیزیک، (۱۳۸۶).
- [14] A.A. Mowlavi and A. Binesh. Effective dose rate evaluation from radon in the air and water samples of Neyshabur turquoise mine, Sabzevar city, Iran. *Elixir Pollution Journal*. 52 (2012) 11488–11489.
- [۱۵] سوری، قاسم. اندازه‌گیری میزان گاز رادون و رادیوم آب شرب منطقه توپسرکان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام‌نور، دانشکده علوم پایه، (۱۳۸۷).
- [16] A. Binesh, A.A. Mowlavi, S. Mohammadi and P. Parvareh. Estimation of the effective dose from radon ingestion and inhalation in drinking water sources of Mashhad, Iran. *Iranian Journal of Radiation Research*, 10(1) (2012) 37–41.
- [17] N. Alirezazadeh. Radon concentrations in public water supplies in Tehran and evaluation of radiation dose. *Iranian Journal of Radiation Research*, 3(2) (2005) 79–83.
- [۱۸] پورحیب زهرا. بینش، علیرضا. محمدی، سعید. بررسی مواد رادیواکتیو سنگین رادون و رادیوم در رودها و آب شرب منطقه رامسر به وسیله دستگاه PRASSI. مجله پژوهش فیزیک ایران، ۱۱(۴)، (۱۳۹۰) ۳۹۷–۴۰۳.

[19] U.Çevik, N. Damla, G. Karahan, N. Çelebi and I. Kobya. Natural radioactivity in tap waters of eastern Black Sea region of Turkey. *Journal of radiation protection dosimetry*, 118(1) (2006) 88–92.

[20] J.D. Oliveira, B. Mazzilli, M.H. Sampa and B. Silva. Seasonal variations of ^{226}Ra and ^{222}Rn in mineral spring waters of Aguas de Prata, Brazil.

Applied Radiation and Isotopes, 49(4) (1998) 423–427.

[۲۱] عالیقدری، مرتضی. غیاثی نژاد، مهدی. مصباح، اشرف السادات. کریمی نژاد، مهدی. اندازه گیری میزان اورانیوم آب های معدنی استان اردبیل، مجله پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز، (۶۳) ۳۸، (۱۳۸۳) ۵۴–۵۸.