مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران، جلد ۲۱، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۰
DOI: 10.47176/ijpr.21.1.04913

یادداشت پژوهشی

تعیین سطح PSA بهینه برای اندازه‌گیری آلفا و بتای کل نمونه‌های آب توسط سوسوزن مایع

حسن رنجبر و بهرام سلیمی

پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران

پست الکترونیکی: hranjbar@aeoi.org.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۸ ؛ دریافت نسخهٔ نهایی: ۱۳۹۹/۰۷/۲۲)

چکیده

اندازه‌گیری و تعیین میزان پرتوزایی آلفا و بتای کل در آب به دلیل خطرات رادیوبیولوژیکی آنها در همهٔ جوامع و کشورهای دنیا اهمیت فراوانی داشته و جزئی از اهداف سازمان‌های استاندارد و بهداشت عمومی است. اندازه‌گیری همزمان ذرات گسیلنده آلفا و بتا در آب با شمارندهٔ سوسوزن مایع یکی از بهترین روش‌های شمارش است. در این روش به دلیل همپوشانی طیف آلفا و بتا، ارزیابی میزان تداخل آلفا و بتا و سطح مناسب PSA در شمارش نمونه بسیار مهم است. هدف از این تحقیق اندازه‌گیری میزان پرتوزایی آلفا و بتای کل تعدادی از آب‌های بطری‌شده با نام‌های تجاری مختلف و مقایسهٔ آنها با حد مجاز و استانداردهای بین‌المللی است. برای رسیدن به این هدف این کار در دو فاز انجام می‌شود. در فاز اول با استفاده از دو محلول استاندارد امرسیوم-۲۴۱ و استرانسیوم-۹۰ با اکتیویته ۲۱ و ۴۰ بکرل پارامترهای تداخل آلفا و تداخل بتا مشخص و سطح مناسب PSA به دست می‌آید. در فاز دوم ۱۰ نمونه آب بسته‌بندی شده با نام‌های تجاری مختلف توسط دستگاه شمارندهٔ سوسوزن مایع مدل Quantulus۱۲۲۰ مورد تحلیل و شمارش قرار می‌گیرد. نتایج مقدار PSA مناسب برای اندازه‌گیری پرتوزایی آلفا و بتای کل در آب را ۱۱۰ تعیین کردند و نتایج حاصل از شمارش نمونه، پرتوزایی ۶۲-۴۱ mBq/l را برای آلفای کل و ۸۵-۵۷ mBq/l را برای بتای کل نشان می‌داد که با مقایسهٔ حدود استاندارد زیر حد مجاز قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: تداخل آلفا و بتا، سطح PSA، پرتوزایی آب، شمارندهٔ سوسوزن مایع

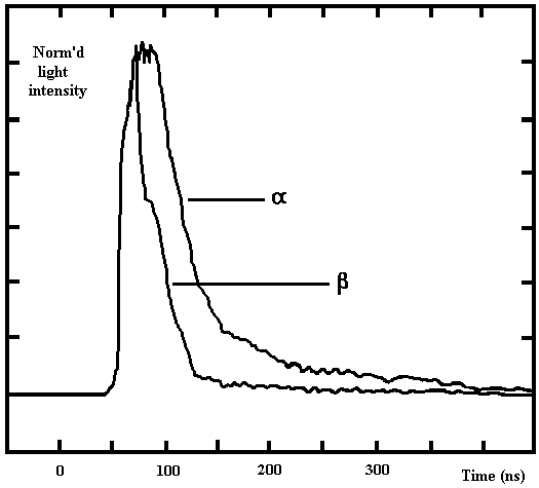
۱. مقدمه

آب سالم حیاتی‌ترین لازمهٔ زندگی بشری است. بررسی آلودگی آب از نظر عمومی بسیار حائز اهمیت بوده و لازم است از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد. یکی از جنبه‌های بسیار مهم، بررسی رادیونوکلیدهای موجود در آب است که در هنگام تجزیهٔ هسته‌های خود، پرتوهای آلفا، بتا و گاما ساطع می‌کنند [۱]. رادیواکتیویتهٔ موجود در آب‌های سطحی، عمدتاً به خاطر عناصر رادیواکتیو موجود در پوستهٔ زمین است. امروزه رادیونوکلید مصنوعی نیز به خاطر برخی فعالیت‌های انسانی ازجمله نیروگاه‌های برق هسته‌ای، آزمایش سلاح‌های هسته‌ای و ساخت و استفاده از منابع رادیواکتیو نیز به وجود آمده‌اند. میزان

توزیع مواد رادیواکتیو طبیعی در آب به موقعیت جغرافیایی و مشخصات زمین شناختی ترکیبات سنگ بستر خود بستگی دارند [۲].

آب آشامیدنی معمولاً حاوی رادیونوکلیدهای مختلفی از جمله تریتیوم، رادیوم و ایزوتوپ‌های اورانیوم است که ساطع کنندهٔ ذرات بتا و آلفا با برد کوتاه بوده که به سرعت جذب می‌شوند ولی اگر از راه تنفس یا دستگاه گوارش وارد بدن شوند باعث آسیب شدیدی به بافت‌های بدن می‌شوند. تماس داخلی با این مواد و تشعشع ناشی از آنها طی مصارف خانگی از طریق بلع و جذب رادیونوکلیدها (گوارشی) و همچنین تنفس گاز رادن آزاد شده از آب خصوصاً در هنگام استحمام حاصل می‌شود. بنابراین اگر آب آلوده به این رادیونوکلیدها مصرف شوند این مواد در دراز مدت می‌توانند باعث ایجاد سرطان در بدن شوند [۳]. از آنجایی که آلودگی آب (رادیواکتیو یا میکروبی) عملاً می‌تواند باعث مشکلات و بیماری شوند [۴] در همین راستا، اکثر کارشناسان بهداشتی، توصیه می‌کنند از آب‌های بسته‌بندی برای آشامیدن استفاده شود لذا در حال حاضر کم نیستند افرادی که آب مصرفیشان را به این نوع آب‌ها محدود کرده‌اند. این مسئله در بسیاری از کشورهای دنیا، حتی در کشورهایی که شبکهٔ آب ایمن و مناسب دارند نیز دیده می‌شود [۵]. لذا تعیین میزان پرتوزایی آلفا و بتای کل آب‌های معدنی مصرفی از نظر پرتوزایی با توجه به توصیه‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۶].

اساس روش سوسوزن مایع بر این مبنا است که مواد شیمیایی آلی خاص (مادهٔ سوسوزن یا کوکتل) زمانی که تحت تابش‌های ذرات بتا و آلفا قرار می‌گیرند از خود نور فلورسانس تابش می‌کنند و این نور توسط تیوپ فتومولتی پلایر به الکترون و در نهایت به صورت پالس الکتریکی اندازه‌گیری می‌شوند. این که ذره تابش‌شده، آلفا یا بتا باشد در ایجاد نور در مادهٔ سوسوزن مشابه همدیگر عمل می‌کنند ولی به دلیل تفاوت در برد، نور تولید شده در واحد انرژی به وسیلهٔ ذرات آلفا در کوکتل حدود یک‌دهم ذرات بتا است. در پی این موضوع پالس



شکل ۱. تفاوت زمانی واپاشی پالس مربوط به ذرات آلفا و بتا [۷].

تولیدی ذرات آلفا و بتا در همان نمونه اغلب همپوشانی و تداخل خواهند داشت [۷].

برای رفع مشکل همپوشانی پالس آلفا و بتا در یک نمونه، دستگاه سوسوزن مایع از تفاوت در "زمان واپاشی پالس[۱]"مربوط به آلفا و بتا استفاده می‌کند تا امکان شمارش همزمان ذرات آلفا و بتا در یک نمونه فراهم شود. مبنای این پارامتر که تحلیلگر شکل پالس (PSA[۲]) نام دارد از این ویژگی استفاده می‌کند که یک پالس آلفا در فرایند سوسوزنی حدود ۵۰ نانوثانیه بلندتر از پالس تولید شده به وسیلهٔ ذرات بتا است (شکل ۱) لذا دستگاه با جمع‌آوری دنبالهٔ هر پالس و مقایسهٔ آن با پالس اصلی، امکان تفکیک ذرات آلفا و بتا و آشکارسازی آنها را فراهم می‌کند.

تحقیقات فراوانی بر روی اندازه‌گیری پرتوزایی آب صورت گرفته است که می‌توان به کلاینشمیت [۸]، روسکنی و همکاران [۹]، لاشین و همکاران [۱۰]، جوزایی [۱۱] و الماسود و همکاران [۱۲] اشاره کرد که تمرکز فعالیت آنها روی پرتوزایی نمونه‌های آب و بررسی سلامت آن از نظر پرتوی است و به روش و چگونگی تعیین شرایط کاری تفکیک دستگاه (تعیین PSA) که مستلزم تجربه در طیف‌سنجی هسته‌ای و شناخت

۱. Pulse Decay Time

۲. Pulse Shape Analysis

دستگاه سوسوزن مایع است هیچ اشاره‌ای نشده است. در کشور ایران نیز به منظور بررسی پرتوزایی در آب‌های آشامیدنی توسط نظام ایمنی هسته‌ای کشور و محققین دیگر آزمایش های جامع و مختلفی انجام شده است [۱۳-۱۷] ولی اطلاعات در زمینهٔ پرتوزایی آب‌های بطری‌شده در ایران اندک است. بنابراین در این پژوهش، ابتدا PSA بهینه و به عبارتی دیگر بهترین شرایط کاری تفکیک دستگاه سوسوزن مایع (مدل کوانتولوس ۱۲۲۰) هنگام شمارش ذرات آلفا و بتا در نمونهٔ آب تعیین می‌شود و سپس میزان پرتوزایی آلفا و بتای کل تعدادی از آب‌های بطری‌شده با نام‌های تجاری مختلف اندازه‌گیری و میزان پرتوزایی آن‌ها با حد مجاز و استانداردهای موجود بین‌المللی مقایسه خواهد شد.

۲. مواد و روش

به منظور تعیین سطح مناسب PSA دو چشمهٔ استاندارد گسیلندهٔ آلفا و بتا مورد نیاز است و از آنجایی که تفکیک کنندهٔ شکل پالس به انرژی ذرات آلفا و بتا بستگی داشته بنابراین استاندارد یا مرجعی که برای تنظیم PSA استفاده می‌شود بایستی با رادیونوکلیدهای مورد نظر اندازه‌گیری مشابه باشند. در این شرایط محلول استاندارد Am۲۴۱ و Sr۹۰ یک انتخاب مناسب و در دسترس است. با استفاده از دستورالعمل و استاندارد ISO ۱۱۷۰۴ [۱۸] نمونه‌های مذکور مطابق روش زیر آماده‌سازی می‌شود.

مقدار معینی از محلول استاندارد استرانسیوم-۹۰ با اکتیویتهٔ حدود ۴۰ بکرل به یک ویال پلی‌اتیلنی (حجم ۲۰ میلی‌لیتری) حاوی ۸ میلی‌لیتر آب غیر پرتوزای دوبار تقطیر شده منتقل می‌شود و ۱۲ میلی‌لیتر ماده سوسوزن[۱] به آن اضافه و در آن محکم بسته و خوب تکان داده می‌شود. برای تهیهٔ نمونهٔ استاندارد آلفا، مشابه تهیه نمونهٔ استاندارد استرانسیوم حدود ۲۱ بکرل استاندارد امرسیوم-۲۴۱ به ویال پلی‌اتیلنی حاوی ۸ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر منتقل و ۱۲ میلی‌لیتر مادهٔ سوسوزن به آن اضافه و در آن بسته می‌شود.

پس از تهیهٔ نمونه‌ها، هریک از آنها در دستگاه LSC مدل کوانتولوس ۱۲۲۰جایگذاری و برای یک PSA مشخص مثلاً ۹۰ به مدت ۶۰ دقیقه مورد شمارش قرار گرفتند. سپس سطح PSA را ۵ واحد اضافه کرده و دوباره نمونه‌ها را با این تنظیم جدید شمارش می‌کنیم. این کار را تا PSA=۱۲۰ ادامه می‌دهیم.

برای تعیین میزان تداخل‌ها هنگام تحلیل طیف‌های اندازه‌گیری شده، کانال شمارش آلفا و بتا طوری انتخاب می‌شود که همهٔ واپاشی‌های آلفا با انرژی ۸-۴ مگاالکترون ولت (کانال‌های بین ۶۵۰-۴۵۰) و واپاشی‌های بتا با انرژی بیشتر از ۲۰۰ کیلوالکترون ولت (کانال‌های بین ۹۰۰-۲۰۰) را پوشش دهد.

پس از کانال‌بندی، میزان تداخل آلفا[۲] ($\tau\alpha$) و تداخل بتا[۳] ($\tau\beta$) که به صورت زیر تعریف می‌شوند به دست آمده و نقطه‌ای که میزان تداخل آلفا و بتا کمینه باشند، نقطهٔ بهینه PSA است.

پارامتر تداخل آلفا به این صورت است که وقتی نمونهٔ استاندارد آلفا شمارش می‌شود انتظار می‌رود در پنجرهٔ مربوط به ذرات بتا هیچ شمارشی ثبت نشود ولی در عمل شمارش‌هایی در پنجرهٔ بتا مشاهده می‌شود که به نسبت این شمارش به شمارش کل (هم پنجرهٔ آلفا و هم بتا) تداخل آلفا می‌گویند و به طور مشابه تداخل بتا قابل تعریف خواهد بود.

پس از کانال‌بندی و تعیین PSA بهینه، برای مشخص کردن راندمان شمارش، یک نمونهٔ آماده شده از استاندارد آلفا و بتا (استرانسیوم یا آمرسیوم) با اکتیویتهٔ ویژه مشخص در سطح PSA تعیین شده (بهینه) شمارش می‌شود. سپس با توجه به روابط زیر راندمان شمارش ذرات آلفا و بتا مشخص می‌شود.

$$\varepsilon_\alpha = \frac{CPS_{S,\alpha} - CPS_{Bg,\alpha}}{A_\alpha}, \qquad (۱)$$

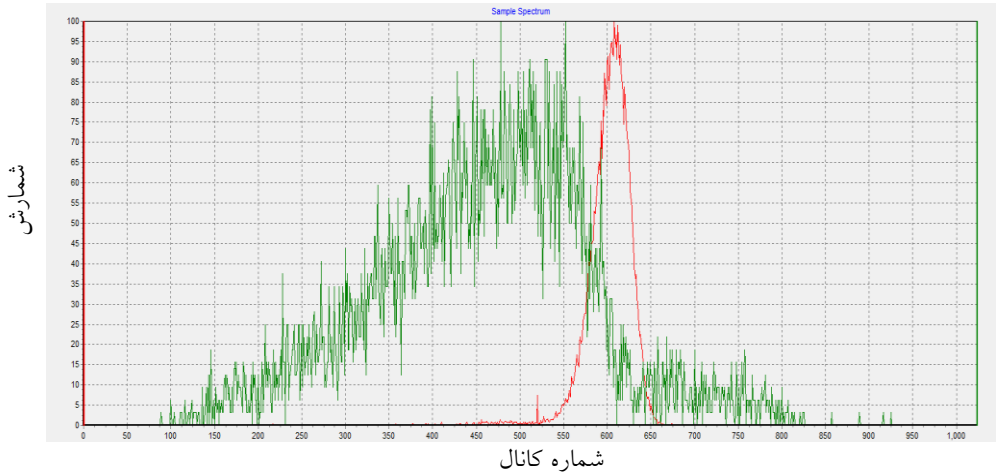
$$\varepsilon_\beta = \frac{CPS_{S,\beta} - CPS_{Bg,\beta}}{A_\beta}, \qquad (۲)$$

که $CPS_{S,\alpha}$ آهنگ شمارش استاندارد آلفا در پنجرهٔ آلفا، $CPS_{Bg,\alpha}$ آهنگ شمارش زمینه در پنجرهٔ آلفا، $CPS_{S,\beta}$ آهنگ

۱. Optiphase HiSafe ۳

۲. Alpha Interface

۳. Beta Interface



شکل ۲. طیف آلفا و بتای نمونه امرسیوم-۲۴۱ و استرانسیوم-۹۰ دستگاه LSC مدل Quantulus ۱۲۲۰.

جدول ۱. شمارش نمونه استاندارد آلفا (امرسیوم-۲۴۱).

شمارش کل	شمارش در پنجرهٔ بتا	شمارش در پنجرهٔ آلفا	سطح PSA
۱۲۵۰/۲۴ ± ۱۰/۴۴	۴/۳۸ ± ۰/۴۹	۱۲۴۵/۸۶ ± ۱۰/۴۵	۹۰
۱۲۴۵/۸۴ ± ۱۰/۵۱	۴/۵۴ ± ۰/۴۸	۱۲۴۱/۳۰ ± ۱۰/۵۳	۹۵
۱۲۳۵/۵۳ ± ۱۰/۶۸	۵/۷۲ ± ۰/۵۱	۱۲۲۹/۸۱ ± ۱۰/۶۹	۱۰۰
۱۲۴۴/۵۴ ± ۱۰/۵۹	۶/۷۰ ± ۰/۵۴	۱۲۳۷/۸۴ ± ۱۰/۶۵	۱۰۵
۱۲۵۳/۳۶ ± ۱۰/۴۱	۹/۴۰ ± ۰/۶۶	۱۲۴۳/۹۶ ± ۱۰/۴۶	۱۱۰
۱۲۴۹/۲۰ ± ۱۰/۵۳	۱۳/۳۸ ± ۰/۹۱	۱۲۳۵/۸۳ ± ۱۰/۶۸	۱۱۵
۱۲۴۰/۲۶ ± ۱۰/۷۳	۱۸/۷۸ ± ۱/۲۲	۱۲۲۱/۴۸ ± ۱۰/۷۱	۱۲۰

شمارش استاندارد بتا در پنجرهٔ بتا، $CPS_{Bg,\beta}$ آهنگ شمارش زمینه در پنجرهٔ بتا، A_α و A_β پرتوزایی استانداردهای آلفا و بتا در زمان شمارش است.

برای اندازه‌گیری میزان پرتوزایی آلفا و بتای کل آب‌های بطری شده، به منظور افزایش حساسیت و کاهش زمان شمارش، حجم مشخصی از نمونه‌های آب اسیدی شدهٔ اولیه با pH در حدود ۲ الی ۳ با تبخیر ملایم (بدون جوشیدن) تا مرحلهٔ خشک شدن تغلیظ می‌شوند. نمونه آب موجود در بشر خشک شده و پس از رسیدن به دمای اتاق، مواد باقیمانده در بشر با ۱۰ میلی‌لیتر آب غیر پرتوزای دوبار تقطیر شده و نیتریک اسید ۰/۱ مولار شسته شده و داخل ویال مخصوص ۲۰ میلی لیتری ریخته می‌شود و مقدار ۱۰ میلی لیتر از کوکتل سوسوزن به آن اضافه می‌شود. سپس ویال محتوی نمونه تکان داده می‌شود تا نمونه و کوکتل کاملاً مخلوط شوند سپس به مدت ۳ ساعت نگهداری و پس از آن به مدت ۲۴۰ دقیقه در دستگاه مورد شمارش قرار می‌گیرند. برای تعیین میزان تابش زمینه، مقدار ۱۰ میلی لیتر از آب نمونه دوبار تقطیر شده که فاقد هرگونه گاز رادون-۲۲۲ است در شرایط مشابه با سایر نمونه‌ها به مدت ۲۴۰ دقیقه در دستگاه LSC مورد شمارش قرار می‌گیرد.

۳. نتایج

شکل ۲ طیف حاصل از دو نمونه استاندارد محتوی گسیلندهٔ آلفا و بتای خالص، که با دستگاه شمارندهٔ سوسوزن مایع مدل کوانتولوس ۱۲۲۰اندازه‌گیری شده است، را نشان می‌دهد.

جدول ۲. شمارش نمونهٔ استاندارد بتا (استرانسیوم-۹۰).

شمارش کل	شمارش در پنجرهٔ آلفا	شمارش در پنجرهٔ بتا	سطح PSA
۲۲۸۷/۱۷ ± ۱۸/۹۸	۳۸/۸۵ ± ۳/۶۱	۲۲۴۸/۳۲ ± ۱۹/۳۵	۹۰
۲۳۰۴/۹۶ ± ۱۹/۱۳	۳۰/۱۹ ± ۲/۸۴	۲۲۷۴/۷۷ ± ۱۹/۳۳	۹۵
۲۳۰۰/۵۷ ± ۱۹/۱۰	۲۴/۷۳ ± ۲/۳۵	۲۲۷۵/۸۳ ± ۱۹/۱۱	۱۰۰
۲۲۹۸/۲۱ ± ۱۹/۰۷	۲۰/۷۰ ± ۱/۹۴	۲۲۷۷/۵۱ ± ۱۸/۹۰	۱۰۵
۲۳۱۳/۷۹ ± ۱۹/۲۰	۱۷/۷۷ ± ۱/۷۱	۲۲۹۶/۰۲ ± ۱۹/۰۵	۱۱۰
۲۳۱۷/۱۱ ± ۱۹/۲۱	۱۵/۴۰ ± ۱/۵۱	۲۳۰۱/۷۲ ± ۱۸/۷۳	۱۱۵
۲۳۰۴/۴۷ ± ۱۹/۰۸	۱۳/۳۶ ± ۱/۴۶	۲۲۹۱/۱۱ ± ۱۸/۸۶	۱۲۰

جدول ۳. مقادیر تداخل آلفا و بتا در سطوح مختلف PSA.

تداخل بتا	تداخل آلفا	سطح PSA
۰/۰۱۷۰ ± ۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۳۵ ± ۰/۰۰۰۳۲	۹۰
۰/۰۱۳۱ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۳۶ ± ۰/۰۰۳۲	۹۵
۰/۰۱۰۸ ± ۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۰۴۶ ± /۰۰۰۴۱	۱۰۰
۰/۰۰۹۰ ± ۰/۰۰۰۸۲	۰/۰۰۵۴ ± ۰/۰۰۰۴۹	۱۰۵
۰/۰۰۷۷ ± ۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۷۵ ± ۰/۰۰۰۶۸	۱۱۰
۰/۰۰۶۶ ± ۰/۰۰۰۶۱	۰/۰۱۰۷ ± ۰/۰۰۰۹۸	۱۱۵
۰/۰۰۵۸ ± ۰/۰۰۰۵۱	۰/۰۱۵۱ ± /۰۰۱۴	۱۲۰

جدول ۱ شمارش نمونه تهیه شده امرسیوم-۲۴۱ به ازای PSAهای مختلف از ۹۰ تا ۱۲۰ را نشان می‌دهد. شمارش نمونه در پنجرهٔ آلفا، بتا و کل به صورت مجزا آورده شده است.

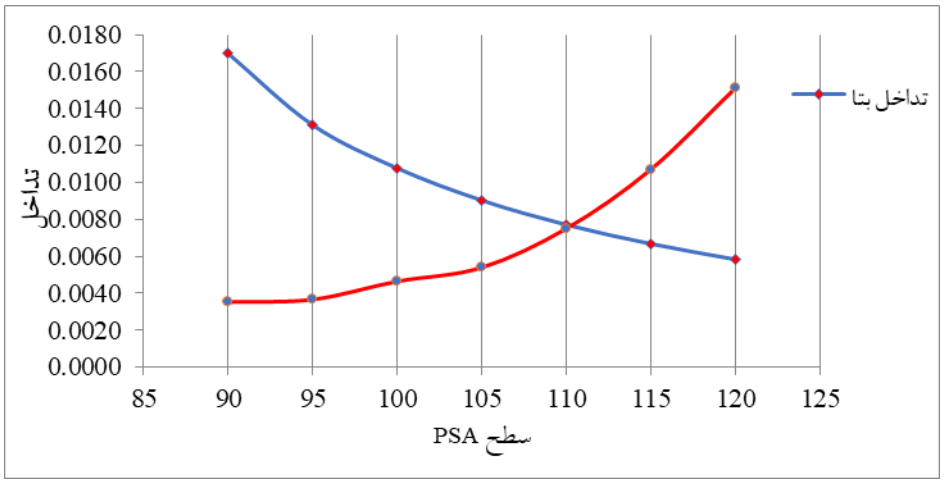
جدول ۲ شمارش نمونهٔ استرانسیوم-۹۰ در پنجرهٔ بتا، آلفا و کل را به ازای PSAهای مختلف از ۹۰ تا ۱۲۰ نشان می‌دهد و جدول ۳ مقادیر تداخل آلفا و بتای به دست آمده از روابط زیر و داده‌های جداول ۱ و ۲ را نشان می‌دهد.

$$\tau_\alpha = \frac{\text{آهنگ شمارش نمونهٔ استاندارد آلفا که در پنجرهٔ بتا مشاهده می‌شود}}{\text{آهنگ شمارش کل نمونهٔ استاندارد آلفا}}$$

$$\tau_\beta = \frac{\text{آهنگ شمارش نمونهٔ استاندارد بتا که در پنجرهٔ آلفا مشاهده می‌شود}}{\text{آهنگ شمارش کل نمونهٔ استاندارد بتا}}$$

شکل ۳ منحنی تداخل آلفا و بتا بر حسب PSAهای مختلف را نشان می‌دهد. نقطهٔ تلاقی و برخورد دو منحنی، سطح بهینهٔ PSA را مشخص می‌کند که با توجه به این شکل سطح بهینهٔ PSA برای اندازه‌گیری آلفا و بتای کل در نمونهٔ آب مقدار ۱۱۰ است.

پس از تعیین بهترین شرایط کاری تفکیک دستگاه سوسوزن مایع، راندمان پرتوزایی آلفا و بتا (ε_α و ε_β) در سطح PSA =۱۱۰ با توجه به روابط ۱ و ۲ به ترتیب ۹۴٪ و ۹۷٪ به دست آمد. پس از محاسبهٔ راندمان شمارش، در این مطالعه ۱۰ نوع نمونه آب بسته‌بندی شده با نام‌های تجاری مختلف BW-b1 الی BW-b10 (مخفف bottled water brands) جمع‌آوری شد و طبق روش استاندارد نمونه‌سازی شد که جدول ۴ میزان پرتوزایی آلفا و بتای کل آنها را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمودار سطح بهینهٔ PSA حاصل از برخورد تداخل آلفا و تداخل بتا.

جدول ۴. میزان پرتوزایی کل آلفا و بتا در نمونه‌های آب.

ردیف	نام تجاری آب بطری‌شده	اکتیویته آلفای کل (Bq/l)	اکتیویته بتای کل (Bq/l)
۱	BW-b۱	۰/۰۴۵ ± ۰/۰۰۴	۰/۰۸۵ ± ۰/۰۰۳
۲	BW-b۲	۰/۰۵۹ ± ۰/۰۰۳	۰/۰۷۶ ± ۰/۰۰۴
۳	BW-b۳	۰/۰۵۳ ± ۰/۰۰۴	۰/۰۵۷ ± ۰/۰۰۵
۴	BW-b۴	۰/۰۵۷ ± ۰/۰۰۴	۰/۰۸۴ ± ۰/۰۰۳
۵	BW-b۵	۰/۰۵۲ ± ۰/۰۰۵	۰/۰۶۹ ± ۰/۰۰۴
۶	BW-b۶	۰/۰۵۰ ± ۰/۰۰۵	۰/۰۷۱ ± ۰/۰۰۴
۷	BW-b۷	۰/۰۶۲ ± ۰/۰۰۴	۰/۰۷۶ ± ۰/۰۰۳
۸	BW-b۸	۰/۰۴۱ ± ۰/۰۰۶	۰/۰۷۱ ± ۰/۰۰۴
۹	BW-b۹	۰/۰۴۵ ± ۰/۰۰۵	۰/۰۶۷ ± ۰/۰۰۵
۱۰	BW-b۱۰	۰/۰۶۰ ± ۰/۰۰۴	۰/۰۸۱ ± ۰/۰۰۳

طبق نتایج اندازه‌گیری شده که در جدول ۴ قابل مشاهده است پرتوزایی آلفای کل در نمونه‌ها در محدودهٔ ۴۱–۶۲ mBq/l به دست آمد. همچنین میزان پرتوزایی بتای کل در محدودهٔ mBq/l ۵۷–۸۵ قرار گرفت.

۴. نتیجه‌گیری

یکی از عوامل زیان‌آور زیست محیطی، پرتوهای یونساز هستند که این عوامل ممکن است منشأ طبیعی داشته یا نتیجهٔ دخالت و فعالیت انسان در فرایندهای طبیعی باشند. با مشخص شدن توانایی ایجاد سرطان به وسیلهٔ پرتوهای یونساز، اندازه‌گیری و تعیین میزان پرتوزایی طبیعی و مصنوعی موجود در آب مورد توجه گستردهٔ جوامع و سازمان‌های مسئول بهداشت قرار گرفته است. از آنجایی که پرتوهای آلفا و بتا در ایجاد دز جذبی داخلی سهم بسزا و مهمی دارند لذا تعیین میزان پرتوزایی آلفا و بتای کل در آب با توجه به توصیه‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO) از اهمیت بسیار بیشتری برخوردار است. روش شمارش سوسوزن مایع برای اندازه‌گیری پرتوزایی آلفا و بتا به طور همزمان و با ثبت دو طیف آلفا و بتای جداگانه برای اندازه‌گیری پرتوزایی نمونهٔ آب در مقایسه با روش‌های دیگر، به

دلیل سرعت و دقت بالا و عدم نیاز به جداسازی رادیوشیمیایی، مزیت و اولویت دارد. البته تعیین درست و صحیح پارامتر PSA برای تفکیک مناسب دو طیف آلفا و بتا که در آشکارسازی مقداری همپوشانی دارند، بسیار ضروری است. در فاز اول تحقیق حاضر به طور کامل به آن پرداخته شد و برای دستگاه سوسوزن مایع مدل کوانتولوس ۱۲۲۰ سطح مناسب PSA در حدود ۱۱۰ به دست آمد. بنابراین برای اندازه‌گیری پرتوزایی آلفا و بتای کل در نمونه‌های آب برای شرایط عادی و اضطراری شرایط کاری بهینه مشخص شد. نتایج این فاز نشان می‌دهد که برای دقت و صحت بالای نتایج و همچنین سرعت بالای تحلیل نمونه‌ها در مواقع اضطراری این پروتکل مفید و کارآمد خواهد بود. سازمان بهداشت جهانی بیشینه حد مجاز مجموع گسیلنده‌های آلفا و بتا را در ویرایش دوم راهنمای آب آشامیدنی به ترتیب ۰/۱ Bq/l و ۱ Bq/l تعیین کرده است. در ویرایش سوم راهنمای آب آشامیدنی این سازمان، اکتیویته مجاز آلفای کل و بتای کل به ترتیب به ۰/۵ Bq/l و ۱ Bq/l تغییر یافته است. مطابق همان استاندارد اگر میزان آلفای کل و بتای کل نمونه‌ای بالاتر از حدهای ذکر شده باشند آن وقت نیاز هست که رادیونوکلیدهای مهمی مانند رادیوم و رادون و اورانیوم به صورت جداگانه بررسی شود و حد مجاز رادیوم و اورانیوم طبق جدول موجود در استاندارد مذکور به ۱ Bq/l و ۱۰ Bq/l تعیین شده است.

در فاز دوم تحقیق نتایج اندازه‌گیری ۱۰ نوع آب بسته‌بندی شده با نام‌های تجاری مختلف و مقایسه با حدود استاندارد، نشان می‌دهد که میزان پرتوزایی آلفا و بتای کل در این آب‌ها زیر حد مجاز است.

مراجع

1. J Chen, *Radiation Environment and Medicine* **7**, 1 (2018) 9.
2. H Keramati, R Ghorbani, Y Fakhri, A M Khaneghah, G O Conti, M Ferrante, M Ghaderpoori, M Taghavi, Z Baninameh, A Bay, and M Golaki, *Food and chemical toxicology* **115** (2018) 9.
3. S M Karabıdak, A Kaya, and S Kaya, *Sustainable Water Resources Management* **5** (2019) 1939.
4. S Karabıdak, A Kaya, and S Kaya, *Sustainable Water Resources Management* **5**, 4 (2019) 49.
5. Z Hu, L W Morton, and R Mahler, *Bottled International Journal of Environmental Research and Public Health* **8**, 2 (2011) 78.
6. WHO. "*Guidelines for drinking-water quality*", 3rd edition. Geneva: World Health Organization, (2008).
7. Quantulus, Instrument Manual-Wallac. "*1220 Quantulus TM Ultra Low Level Liquid Scintillation Spectrometer*." Perkinelmer (2009).
8. R I Kleinschmidt, *Applied Radiation and Isotopes* **61,** 2-3 (2004) 8.
9. R Rusconi, A Azzellino, S Bellinzona, M Forte, R Gallini, and G Sgorbati. *Analytical and bioanalytical chemistry* **379**, 2 (2004) 53.
10. Y F Lasheen, A F Seliman, and A A Abdel-Rassoul. *Journal of environmental radioactivity* **95**, 2-3 (2007) 86.
11. S Jowzaee, *Radiation protection dosimetry* **157,** 2 (2013) 41.
12. F I Almasoud, Z Q Ababneh, Y J Alanazi, and M U Khandaker, *Chemosphere* (2019) 125181.
13. م غیاثی‌نژاد، س حافظی و همکاران، نظام ایمنی هسته‌ای کشور، امور حفاظت در برابر اشعه (۱۳۸۰).
14. A Abbasi and V Bashiry. *Int J Radiat Res*. **14**, 4 (2016) 6.
15. A Abbasi and F Mirekhtiary, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. **314,** 2 (2017) 1075.
16. Y Fakhri, G Oliveri Conti, M Ferrante, A Bay, M Avazpour, B Moradi, Y Zandsalimi, L Rasouli Amirhajeloo, G Langarizadeh, and H Keramati, *International Journal of Pharmacy and Technology* **15** (2016) 93.
17. S A Hosseini, *Iran. J. Radiat. Res*. **5**, 2 (2007) 97.
18. ISO 11704:2010 Water quality — Measurement of gross alpha and beta activity concentration in non-saline water — Liquid scintillation counting method.