



اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ در ماهی خلیج فارس با استفاده از روش کروماتوگرافی استخراج توسط Sr-resin و شمارشگر سنتیلاسیون مایع

مریم فیروزآبادی (MSc)^{۱*}، حسین جلالی جهرمی (PhD)^{۱*}، حسین انارکی اردکانی (PhD)^۱

^۱ گروه شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۲/۲۷- پذیرش مقاله: ۹۹/۶/۲۹)

چکیده

زمینه: صنعت هسته‌ای با داشتن اثرات مفید در زندگی انسان دارای خطراتی نیز می‌باشد. استرانسیوم ۹۰ یکی از خطرناک‌ترین رادیونوکلیدهایی است که در نتیجه شکافت هسته‌ای اورانیوم ۲۳۵ تولید می‌شود و در بدن انسان جایگزین کلسیم استخوان شده و سرطان ایجاد می‌کند. حصول اطمینان از ایمن بودن تأسیسات هسته‌ای به منظور حفاظت کارکنان، مردم و محیط زیست از اهداف اصلی ایمنی هسته‌ای می‌باشد. با توجه به قرار گرفتن نیروگاه اتمی بوشهر در نزدیکی خلیج فارس و احتمال ریزش استرانسیوم ۹۰ به اکوسیستم دریا، اندازه‌گیری این رادیونوکلید در نمونه ماهی زمین‌کن دم نواری *Platycephalus indicus* سواحل خلیج فارس به عنوان غذای غالب مردم منطقه مورد هدف بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ۱۰ نقطه از سواحل خلیج فارس مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. نمونه‌ها با استفاده از روش کروماتوگرافی استخراج توسط Sr-resin و شمارش با دستگاه شمارشگر سنتیلاسیون مایع، آنالیز گردیدند.

یافته‌ها: میزان غلظت استرانسیوم ۹۰ اندازه‌گیری شده در نمونه‌های ماهی، ۲۵۲/۹۵۵-۰/۰ بکرل بر کیلوگرم بود. میانگین بازده شیمیایی روش انجام شده جهت آنالیز، ۹۷/۳۴ ± ۱۰/۹۷ درصد محاسبه گردید.

نتیجه‌گیری: نتایج به دست آمده نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده استرانسیوم ۹۰ در ماهی‌های مناطق نمونه‌برداری شده بسیار ناچیز و در محدوده کمترین مقدار قابل آشکارسازی می‌باشد. با وجود فعالیت نیروگاه اتمی بوشهر در حدود ۱۰ سال، شواهد آلودگی با استرانسیوم ۹۰ یافت نشد. نتایج حاصله این مطالعه در بررسی آلودگی زمینه در برنامه‌های پایش محیطی بسیار مفید خواهد بود.

واژگان کلیدی: استرانسیوم ۹۰، سرطان، ماهی، شمارشگر سنتیلاسیون مایع، پایش محیطی

^{**}ماشهر، گروه شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ماهشهر، ماهشهر، ایران

Email: hossein.jalali1354@gmail.com

*ORCID: 0000-0002-5168-4583

**ORCID: 0000-0001-8483-6013

مقدمه

صنعت هسته‌ای با داشتن اثرات بسیار مفید در زندگی انسان از جمله تولید برق هسته‌ای، تولید رادیو دارو در راکتورهای تحقیقاتی دارای خطراتی از جمله احتمال وقوع حوادث هسته‌ای، تولید پسماند هسته‌ای و در پی آن پخش مواد پرتوزا در بدن انسان و محیط زیست نیز می‌باشد (۱). به عنوان مثال حوادث چرنوبیل (اوکراین ۱۹۸۶) و فوکوشیما (ژاپن ۲۰۱۱) که بزرگ‌ترین حوادث پرتویی محسوب می‌شوند، سبب افزایش سطح پرتوزای زمینه در ناحیه‌ای فراتر از مرز کشورهای اوکراین و ژاپن شدند که عواقب آن تا سالیان زیادی پس از حوادث ادامه خواهد داشت (۲).

مطالعات و بررسی‌های مداوم رادیواکولوژیکی محیط زیست، به عنوان یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر جهت تضمین پایداری اکوسیستم با هدف حفاظت در برابر اشعه مهم می‌باشد (۳).

استرانسیوم ۹۰ یکی از رادیونوکلیدهای خطرناک می‌باشد که به طور مصنوعی و در نتیجه شکافت هسته‌ای از اورانیوم ۲۳۵، وارد محیط زیست می‌شود (۴). این رادیونوکلید دارای نیمه عمر فیزیکی و بیولوژیکی بالا (به ترتیب ۲۸/۸ و ۷ سال) می‌باشد (۵). قابل ذکر است ایتريوم ۹۰ دختر استرانسیوم ۹۰ با نیمه عمر کوتاه (۶۴ ساعت)، خود یک ساطع‌کننده بتا با انرژی ۲۲۸۰ کیلو الکترون ولت، سبب تشدید عوارض ناشی از انتقال رادیونوکلید استرانسیوم ۹۰ به بدن می‌شود (۶). عنصر استرانسیوم به دلیل تشابه آن با عنصر کلسیم، از رفتار شیمیایی این عنصر تبعیت می‌کند (۷). این عنصر جایگزینی مؤثر در بافت‌های غنی از کلسیم مانند بافت‌های استخوانی می‌باشد (۸).

ورود استرانسیوم ۹۰ به اکوسیستم دریا بسیار حائز اهمیت می‌باشد. ریزش این رادیویزوتوپ طی حوادث

هسته‌ای تأثیرات زیادی بر روی موجودات آبی در دریا دارد، به طوری که در حوادث گذشته باعث از بین بردن حیات در بسیاری از موجودات آبی گردیده است (۹). در کشور ایران به دلیل داشتن نیروگاه اتمی بوشهر در نزدیکی خلیج فارس و از نظر اینکه آب دریا زیستگاه بسیاری از آبزیان از جمله ماهی‌های خوراکی می‌باشد، لذا پایش دریا از نظر آلودگی به مواد پرتوزا یک ضرورت محسوب می‌شود. چنانچه در این گونه از مواد غذایی آلودگی به استرانسیوم ۹۰ وجود داشته باشد، آلودگی با مصرف مواد غذایی به بدن انسان منتقل می‌شود. این پرتوها باعث آسیب‌های بیولوژیکی به بافت‌های بدن از طریق روش‌های مستقیم و غیرمستقیم می‌شوند. پس از برخورد پرتوهای یونساز با اتم‌ها، یونیزاسیون اتفاق می‌افتد. از مهم‌ترین اثرات آن‌ها ایجاد سرطان در بافت‌های استخوانی بدن انسان می‌باشد. به طور کلی قرار گرفتن در معرض تشعشعات رادیواکتیو در بلندمدت می‌تواند به توانایی بقای جمعیت‌های مختلف دریایی نیز آسیب جدی وارد کند. این پرتوها در موجودات دریایی نیز مانند بدن انسان باعث ایجاد سرطان شده، در نتیجه افزایش مرگ و میر و کاهش جمعیت آن‌ها را به دنبال دارد. ماهی‌ها از جمله موجودات آبی هستند که در تماس مستقیم با آب قرار دارند و دارای بافت استخوانی از جنس کلسیم می‌باشند. در صورت ریزش استرانسیوم ۹۰ به اکوسیستم دریا، احتمال دارد این رادیونوکلید جذب ساختار استخوانی این گونه از موجودات آبی شود. بنابراین اندازه‌گیری میزان غلظت استرانسیوم ۹۰ در این دسته از موجودات آبی از نظر تضمین سلامت اکوسیستم دریا بسیار ضروری به نظر می‌رسد (۱۰).

در مطالعات گذشته نمونه‌های هدف برای اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ به طور عمده شامل آب و خاک بوده و

نمونه‌های مواد غذایی مانند ماهی‌ها کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در این نمونه‌ها جهت آنالیز استرانسیوم ۹۰ از روش‌های رزین کاتیونی، رسوب‌گیری و جداسازی شیمیایی استفاده گردیده است. روش‌های کروماتوگرافی دارای گزینش‌پذیری بیشتری نسبت به روش‌های رسوب‌گیری بوده‌اند. با این وجود برخی از روش‌های مورد استفاده، دارای بازده شیمیایی پایین و زمان آنالیز طولانی‌مدت بودند. همچنین در مواردی، تولید پسماندهای خطرناک از جمله معایب روش‌های آنالیز محسوب می‌شد. جهت شمارش نمونه‌های آماده‌سازی شده از سیستم شمارشگر تناسبی و یا شمارشگر سنتیلاسیون مایع استفاده شده است. با وجود اینکه پرتوهای زمینه در دستگاه شمارشگر سنتیلاسیون مایع نسبت به سیستم شمارشگر تناسبی بالاتر است، اما قدرت تفکیک‌پذیری بالای این دستگاه از امتیاز ویژه آن محسوب می‌شود (۱۱).

در این مطالعه چند هدف مد نظر قرار گرفته شده است. مهم‌ترین هدف آن، تضمین سلامت اکوسیستم دریا از جمله ماهی خوراکی (زمین‌کن دمنواری) منطقه استان بوشهر در سواحل خلیج فارس از نظر آلودگی به عنصر پرتوزای استرانسیوم ۹۰ با رویکرد سلامت مردم و محیط زیست می‌باشد. از اهداف دیگر این مطالعه اتخاذ روش بهینه جهت اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ در نمونه‌هایی مانند ماهی می‌باشد. در این مطالعه روش رادیوشیمیایی سریع و کارا با استفاده از روش‌های جداسازی رسوب‌گذاری و کروماتوگرافی استخراج با استفاده از Sr-resin جهت اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ در نمونه ماهی بررسی گردید (۱۲). قابل ذکر است در هنگام بروز حوادث هسته‌ای برنامه‌ریزی و اتخاذ تدابیر ایمنی مانند خالی کردن یک منطقه از سکنه و پناه‌گیری در مناطق امن بر اساس نتایج پایش رادیولوژیکی

صورت می‌گیرد (۱۳)، بنابراین کوتاه بودن زمان آنالیز برای عناصر پرتوزا بسیار حائز اهمیت می‌باشد (۱۴) و (۱۵). در این مطالعه کوتاه شدن زمان آنالیز با انجام تکنیک‌های مناسب بررسی شد.

مواد و روش‌ها

محلول استاندارد $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ که از شرکت ZIEGLER (Valencia, CA, USA) خریداری شد. این محلول استاندارد، شامل ماده پرتوزای استرانسیوم ۹۰ و ایتريوم ۹۰ می‌باشد که به طور خالص جداسازی گردیده است. از این ماده جهت صحنه‌سنجی روش استفاده می‌شود. ماده مرجع (IAEA-A-12) که توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (استرالیا، ونیز) تهیه گردید. این ماده مرجع، استخوان حیوانی است که دارای مواد رادیواکتیو از جمله استرانسیوم ۹۰ به مقدار پرتوزایی مشخص می‌باشد. چشمه استاندارد استرانسیوم ۹۰ خریداری شده از شرکت Perkin Elmer جهت کالیبراسیون و کنترل کیفی دستگاه شمارشگر سنتیلاسیون مایع استفاده گردید. این چشمه به‌طور کامل شفاف می‌باشد و بدون ایجاد هیچ‌گونه مزاحمت شیمیایی آماده‌سازی گردیده است. Sr-resin با اندازه ذرات ۱۰۰ تا ۱۵۰ میکرومتر ساخت شرکت TRISKEM (France)، رزین مورد استفاده جهت استخراج استرانسیوم می‌باشد. ساختار این رزین به‌صورت di-t-butylcyclohexano-18-crown-6-4,4'(5') (اتر تاجی) در ۱- اکتانول که بر روی پلیمری بی‌اثر نشانده شده است. چگالی بستر Sr-resin به‌طور تقریبی ۰/۳۵ گرم در میلی‌لیتر می‌باشد. این رزین بسیار گزینش‌پذیر است و به‌طور کاملاً اختصاصی استرانسیوم را جداسازی می‌کند. حامل استرانسیوم با غلظت $10\text{ mg Sr}^{++}.\text{mL}^{-1}$ با استفاده از نیترات استرانسیوم (Oakville, ON, Canada) که توسط اسید نیتریک ۳ مولار به حجم می‌رسد تهیه گردید. از این ماده جهت تعیین

راندمان شیمیایی استفاده گردیده است. محلول سوسوزن مایع از نوع OptiPhase HiSafe3 (Perkin Elmer) می‌باشد. از این ماده جهت آشکارسازی مواد پرتوزای درون محلول استفاده می‌شود. دیگر مواد شیمیایی شامل اکسالیک اسید، نیتریک اسید و آمونیاک از نوع درجه تجزیه‌ای و ساخت شرکت MERCK می‌باشد. قابل ذکر است برای هر نمونه، آزمایش سه بار تکرار و در نهایت میانگین سه بار اندازه‌گیری به عنوان غلظت استرانسیوم ۹۰ در ۱۰ نقطه نمونه‌برداری شده ثبت گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۴ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف اسمیرنف، نمونه‌های مختلف از نظر مقدار پرتوایی استرانسیوم ۹۰ با استفاده از آنالیز واریانس یک-طرفه (One-Way ANOVA) مقایسه گردیدند.

تجهیزات و وسائل مورد نیاز

دستگاه اسپکترومتر سنتیلاسیون مایع مدل 1220 Quantulus ساخت شرکت Perkin Elmer جهت شمارش نمونه‌ها به همراه ویال پلی‌اتیلن (Perkin Elmer, Woodbridge, ON, Canada) کاربرد دارد. ستون کروماتوگرافی استخراجی شامل ستون شیشه‌ای با قطر داخلی ۱ سانتی‌متر مورد نیاز می‌باشد. سیستم فیلتراسیون (Millipore) با کاغذ صافی (Whatman 42) به همراه پمپ خلا جهت فیلتر کردن نمونه مورد استفاده قرار گرفت. هیتز هم‌زن، سانتریفیوژ، آون و کوره الکتریکی دیگر تجهیزات مورد استفاده در این مطالعه بود.

نمونه‌برداری

در این مطالعه نمونه ماهی از نوع زمین‌کن دم نواری با نام علمی *Platycephalus indicus* انتخاب گردید. قابل ذکر

است این گونه از ماهی‌ها جهت استتار و زیست خود نیاز به رفتن به زیر ماسه‌های کف دریا را دارند و از همان‌جا نیز تغذیه می‌کنند. لذا در صورت آلودگی دریا به استرانسیوم ۹۰ و نشست این رادیونوکلید در کف دریا، با احتمال جذب این رادیونوکلید در ساختار استخوانی این گونه از ماهی‌ها، آن‌ها نمونه‌های مناسبی هستند که می‌توانند آلودگی را نمایان کنند. بدین منظور در ۱۰ نقطه از سواحل خلیج فارس حاشیه استان بوشهر نمونه‌برداری انجام پذیرفت. مکان‌های نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شدند که به‌طور تقریبی تمام سواحل استان بوشهر با خلیج فارس را پوشش داد. این نقاط شامل دیلم، گناوه، بوشهر (در ۴ نقطه)، دلوار، دیر، کنگان و عسلویه بود. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری ماهی زمین‌کن دم نواری در سواحل خلیج فارس استان بوشهر به صورت مشخص (نقاط قرمز رنگ) آورده شده است (۱۶). قابل ذکر است نقاط نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شدند که محدوده ۷۰۰ کیلومتری مرز دریایی استان بوشهر با خلیج فارس را پوشش داد.



شکل ۱) موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری ماهی زمین‌کن دم نواری در سواحل خلیج فارس استان بوشهر
(ایستگاه‌ها شامل دیلم، گناوه، بوشهر (در ۴ نقطه)، دلوار، دیر، کنگان و عسلویه می‌باشد).

نمونه‌گیری توسط صیادان منطقه، با استفاده از تور ماهیگیری در آبان ماه سال ۱۳۹۸ صورت گرفت. جهت دستیابی به مقدار ماهی مورد نیاز برای انجام آنالیز موارد مهمی در نظر گرفته شد. در فرایند اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ بر روی نمونه ماهی، مقدار ۱۰ تا ۲۰ گرم از قسمت استخوانی ماهی مورد نیاز بود (زیرا استرانسیوم ۹۰ تنها در بافت‌های استخوانی که از جنس کلسیم هستند جایگزین می‌شود). از طرفی دیگر مقدار ماهی نمونه‌برداری شده باید به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شد که نمایان‌گر ماده رادیواکتیو مورد آنالیز در آن منطقه باشد. همچنین جهت حصول نتایج دقیق و قابل تعمیم در فرایند آنالیز، نمونه‌ها باید به‌طور کامل یکنواخت گردند. بنابراین مقدار ماهی نمونه‌برداری شده در هر منطقه باید این مقدار مورد نیاز جهت آزمایش را پوشش می‌داد. از این‌رو با در نظر گرفتن موارد مطرح شده، مقدار بهینه جهت نمونه‌برداری در هر ایستگاه حدود ۳ کیلوگرم از ماهی مورد آزمون در نظر گرفته شد (۱۱). نمونه‌ها در ظروف در بسته به حالت سرد و در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه انتقال داده و سپس در فریزر نگهداری شدند.

آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه از آنجا که بافت استخوانی نمونه‌ها بافت هدف بود، لذا قسمت خوراکی آن جدا شده و قسمت استخوانی مورد تمیزکاری فیزیکی قرار گرفت. سپس استخوان‌ها توسط آسیاب به ذرات کوچک تبدیل و همگن گردیدند. حدود ۱۰ تا ۲۰ گرم به یک بوته چینی انتقال و خاکستر گردید (۱۷). پس از آن نمونه به یک بشر انتقال داده و ۳ میلی‌لیتر حامل استرانسیوم با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر، جهت محاسبه بازده شیمیایی به نمونه اضافه گردید.

حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آرامی به نمونه افزوده شد. استفاده از اسید نیتریک جهت هضم نمونه و تبدیل فاز جامد به مایع می‌باشد. اجازه داده شد نمونه برای مدت ۴ ساعت ضمن مخلوط شدن بجوشد. محلول روی رسوب به بشر منتقل گردید. به محلول حدود ۵ تا ۱۰ گرم اکسالیکی اسید افزوده شد و با افزودن آمونیاک، pH محلول بین ۴ تا ۵ تنظیم گردید. هنگام افزودن اکسالیکی اسید و تنظیم pH توسط آمونیاک، تمامی عناصر قلیایی از جمله استرانسیوم موجود در محلول رسوب می‌کنند و از بقیه عوامل مزاحم جداسازی می‌شوند. سپس رسوب در ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۳ مولار حل شد. حدود ۳ گرم از Sr-resin به داخل ستون انتقال داده و محلول آماده‌سازی شده به داخل ستون تخلیه گردید. اسید نیتریک ۳ مولار به مقدار ۴۰ میلی‌لیتر از ستون عبور داده شد. استرانسیوم با عبور ۳۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر از ستون خارج گردید. به محلول خارج شده از ستون کروماتوگرافی، ۲۰۰ میلی‌گرم اکسالیکی اسید اضافه شد و با استفاده از آمونیاک pH محلول بین ۹ تا ۱۰ تنظیم گردید. رسوب تشکیل شده با استفاده از سیستم فیلتراسیون میلی‌پور و پمپ خلا توسط کاغذ واتمن شماره ۴۲ فیلتر گردید. رسوب استرانسیوم اکسالات به داخل ویال پلی‌اتیلنی ۲۰ میلی‌لیتر انتقال داده و ۱/۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ مولار به آن اضافه شد. در ادامه ۱۵ میلی‌لیتر محلول سنتیلاسیون از نوع HiSafe-3 به داخل ویال انتقال داده شد. نمونه به مدت ۴۰۰ دقیقه توسط دستگاه شمارشگر سنتیلاسیون مایع شمارش گردید (۱۸). در شکل ۲ روندنمای اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ در نمونه ماهی آورده شده است.

می‌سازد که تنظیم پنجره برای انرژی پایین و بالا را بتوان اجرا نمود (۱۹).

نمونه‌های آماده‌سازی شده به مدت ۴۰۰ دقیقه در پنجره انرژی بتای بالای کربن ۱۴ توسط دستگاه شمارشگر سنتیلاسیون مایع با استفاده از نرم‌افزار Win-Q شمارش شدند. سپس طیف‌های نمونه‌های شمارش شده توسط نرم‌افزار Easy View ویرایش ۱۰۳۴ آنالیز گردیدند (۲۰ و ۲۱). پس از شمارش چشمه استاندارد $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ، راندمان دستگاه شمارش طبق معادله (۱) محاسبه شد:

(۱)

$$E_{(\text{Sr})} = \frac{[I_{\text{ACAL}} - I_{\text{ABKG}}] - f(y) \cdot [I_{\text{BCAL}} - I_{\text{BBKG}}] \exp(-\lambda_{\text{Sr}} \cdot t_{\text{L,CAL}})}{r_{\text{Sr,CAL}} \cdot a_{0,\text{Sr}} \cdot 60}$$

که در آن:

$E_{(\text{Sr})}$: راندمان شمارش دستگاه اسپکترومتر سنتیلاسیون

مایع برای استرانسیوم؛

$I_{\text{A,CAL}}$: آهنگ شمارش کل در منطقه A (cpm)؛

$I_{\text{A,BKG}}$: آهنگ شمارش زمینه در منطقه A (cpm)؛

$I_{\text{B,CAL}}$: آهنگ شمارش کل در منطقه B (cpm)؛

$I_{\text{B,BKG}}$: آهنگ شمارش زمینه منطقه B (cpm)؛

$r_{\text{Sr,CAL}}$: فاکتور بازیابی شیمیایی؛

$a_{0,\text{Sr}}$: پرتوایی استرانسیوم ۹۰ اضافه شده به محلول

جهت تعیین بازده شیمیایی (Bq)؛

$f(y)$: نسبت شمارش استرانسیوم ۹۰ در منطقه A به

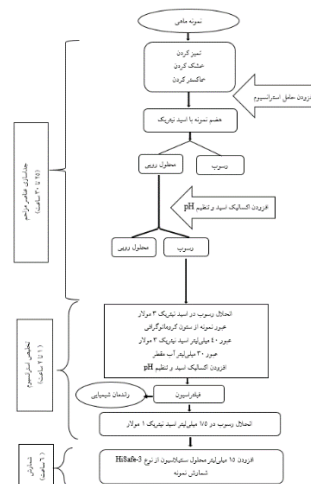
شمارش آن در منطقه B؛

λ_{Sr} : ثابت واپاشی استرانسیوم ۹۰ ($7.63 \times 10^{-10} \text{S}^{-1}$)

$t_{\text{L,CAL}}$: فاصله زمانی از تاریخ مرجع تا زمان شروع آنالیز

نمونه (ثانیه).

قابل ذکر است جهت پنجره‌بندی طیف، منطقه A از ابتدای طیف تا محل برخورد دو طیف با یکدیگر و منطقه B از نقطه پایان منطقه A تا پایان طیف در نظر گرفته می‌شود.



شکل (۲) روندنمای اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ در نمونه ماهی

صحه‌سنجی فرایند اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ در

نمونه ماهی به دو روش انجام شد.

در اولین روش، با استفاده از نمونه ماهی زمین‌کن که قبلاً مورد آنالیز واقع شده و پرتوایی آن محاسبه شده بود (نقاط عسلویه، کنگان و دلوار)، با افزایش مقدار مشخصی از استرانسیوم ۹۰ در آزمایشگاه آلوده شدند. این نمونه‌ها توسط روش ارائه شده بر اساس شکل ۲، مورد آنالیز قرار گرفتند. در روش دوم مقدار معینی از ماده مرجع IAEA-A-12 (استخوان حیوانات) با داشتن پرتوایی مشخص استرانسیوم ۹۰، به روش گفته شده مورد آنالیز قرار گرفت.

اندازه‌گیری پرتوایی استرانسیوم ۹۰

دستگاه اسپکترومتر سنتیلاسیون مایع به‌طور کلی شامل شمارش فوتون‌های سنتیلاسیون تولید شده توسط یک آشکارساز سنتیلاسیون مایع در نتیجه واپاشی رادیونوکلیدهای موجود در نمونه مورد آزمایش می‌باشد. این سیستم از دو جزء اصلی نمونه حاوی رادیونوکلید و مایع سنتیلاسیون تشکیل شده است. دستگاه اسپکترومتر سنتیلاسیون مایع Quantulus 1220، این امکان را فراهم

یافته‌ها

پس از شمارش چشمه استاندارد $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ با استفاده از رابطه (۱)، راندمان دستگاه به مقدار ۹۸ درصد محاسبه شد. راندمان به دست آمده بسیار بالا و مناسب می‌باشد. بنابراین چنانچه ماده پرتوزا به مقدار پایین در نمونه باشد، این دستگاه قادر است آن را به خوبی آشکارسازی کند. همچنین با شمارش نمونه جداسازی شده ایتريوم 90 و اعمال پنجره‌بندی به دو منطقه A و B مقدار ضریب تداخل، 0.98 بدست آمد. این مقدار به دست آمده نشان می‌دهد طیف ایتريوم 90 به مقدار بسیار کمی در طیف استرانسیوم 90 پوشاندگی ایجاد می‌کند. نتایج آزمون کولموگروف اسمیرنوف نشان داد که توزیع داده‌ها در سطح نرمال می‌باشد. همچنین آنالیز واریانس یک‌طرفه از لحاظ پرتوزایی استرانسیوم 90 در ماهی زمین‌کن دمنواری در مناطق نمونه‌برداری شده، اختلاف معنی‌دار آماری نشان نداد ($p=0.398$). از طرف دیگر مقایسه اختلاف میانگین پارامترهای به دست آمده در هر منطقه با مناطق دیگر نشان داد اختلاف معنی‌داری در میانگین پرتوزایی استرانسیوم 90 بین مناطق نمونه‌برداری شده نیز وجود ندارد ($p>0.05$). نتایج پرتوزایی استرانسیوم 90 در ۱۰ نقطه نمونه‌برداری شده در جدول ۱ آورده شده است.

جهت تصحیح تداخل دنباله طیف استرانسیوم 90 در منطقه ایتريوم 90 و محاسبه فاکتور تداخل بعد از اتمام زمان شمارش، شمارش‌های ایتريوم 90 در دو منطقه A و B مشخص می‌شود و نسبت شمارش‌ها در منطقه A به منطقه B محاسبه می‌گردد ($f(y)$). در این رابطه برابر با نسبت $(I_{y,A}-I_{BKG,A})/(I_{y,B}-I_{BKG,B})$ می‌باشد (۲۲). با پنجره‌بندی، پرتوزایی استرانسیوم 90 را می‌توان در هر زمانی بعد از آماده شدن نمونه، شمارش و پرتوزایی آن را طبق معادله (۲) محاسبه نمود:

$$A_{(Sr)} = \frac{(I_{G,A} - I_{BKG,A}) - (I_{G,B} - I_{BKG,B})f(y)}{60 \times E_{(Sr)} \times r_{(Sr)} \times M_{(w)}}$$

که در آن:

$I_{G,A}$: آهنگ شمارش کل در منطقه A (cpm)؛

$I_{G,B}$: آهنگ شمارش کل در منطقه B (cpm) قابل ذکر

است کنترل کیفی دستگاه توسط چشمه‌های استاندارد استرانسیوم 90 خریداری شده از شرکت Perkin Elmer انجام و دستگاه صحت‌سنجی می‌گردد. این چشمه‌ها دارای گواهینامه استاندارد می‌باشند که پرتوزایی استرانسیوم 90 همراه با عدم قطعیت مربوطه در آن لحاظ گردیده است.

جدول ۱) نتایج پرتوزایی استرانسیوم 90 در نمونه ماهی زمین‌کن خلیج فارس حاشیه استان بوشهر				
مکان نمونه‌برداری	درصد بازده شیمیایی	مقدار نمونه (کیلوگرم)	میانگین غلظت استرانسیوم 90 (بکرل بر کیلوگرم) ($\pm 2\sigma$)	کمترین مقدار قابل آشکارسازی (بکرل بر کیلوگرم)
دبلم	۹۵/۶	۰/۱۴۱۵	۰/۰۶۵ $\pm$ ۰/۲۵۲	۰/۱۲۳
گناوه	۹۷/۲	۰/۱۲۹۵	۰/۰۶۳ $\pm$ ۰/۶۷۲	۰/۰۹۲
بوشهر - ۱	۹۸/۶	۰/۱۳۵۶	۰/۰۲۰ $\pm$ ۰/۷۵۰	۰/۲۳۶
بوشهر - ۲	۹۸/۷	۰/۱۷۷۸	۰/۰۷۱ $\pm$ ۰/۴۵۲	۰/۰۹۸
بوشهر - ۳	۹۷/۲	۰/۱۴۳۶	۰/۰۵۸ $\pm$ ۰/۴۹۰	۰/۱۶۵
بوشهر - ۴	۹۸/۱	۰/۱۳۵۴	۰/۰۴۵ $\pm$ ۰/۶۵۸	۰/۰۸۹
دلوار	۹۶/۳	۰/۱۵۴۳	۰/۰۳۱ $\pm$ ۰/۹۴۳	۰/۱۶۸
دیر	۹۷/۳	۰/۱۶۰۸	۰/۰۶۵ $\pm$ ۰/۹۰۷	۰/۲۲۸
کنگان	۹۷/۶	۰/۱۶۰۷	۰/۰۲۸ $\pm$ ۰/۹۵۵	۰/۱۶۴
عسلویه	۹۶/۸	۰/۱۴۴۹	۰/۰۶۵ $\pm$ ۰/۴۵۲	۰/۰۹۸

در جدول ۲ نتایج صحنه‌سنجی روش آزمون در نمونه‌های اسپایک شده استرانسیوم ۹۰ به نمونه ماهی و همچنین ماده مرجع IAEA-A-12 آورده شده است.

کد نمونه	مقدار نمونه (کیلوگرم)	استرانسیوم ۹۰ مشاهده شده (بکرل بر کیلوگرم) ($\pm 2\sigma$)	مقدار واقعی استرانسیوم ۹۰ (بکرل بر کیلوگرم)	خطا بین مقدار مشاهده شده و مقدار واقعی (%)
اسپایک ۱ -	۰/۰۱۲۵۵	۰/۰۷۱۵ $\pm$ ۰/۷۵۹	۰/۷۸۵	۳/۳۱
اسپایک ۲ -	۰/۰۱۳۸۱	۰/۰۴۵۹ $\pm$ ۰/۸۸۳	۰/۸۹۵	۱/۳۴
اسپایک ۳ -	۰/۰۱۴۳۰	۰/۷۴۲ $\pm$ ۰/۵۴۸	۰/۷۵۸	۲/۱۱
ماده مرجع ۱ -	۰/۰۱۲۰۱	۰/۶۵۲ $\pm$ ۰/۰۶۵۸	۰/۶۷۹	۳/۹۸
ماده مرجع ۲ -	۰/۰۱۱۰۲	۰/۶۰۸ $\pm$ ۰/۰۵۲۶	۰/۶۳۰	۳/۴۹
ماده مرجع ۳ -	۰/۰۱۳۵۱	۰/۷۲۹ $\pm$ ۰/۰۲۱۵	۰/۷۵۶	۳/۵۷

بحث

به دلیل نزدیک بودن نیروگاه اتمی بوشهر به خلیج فارس و با توجه به تغذیه مردم از ماهی‌های این منطقه، لذا پایش این‌گونه از موجودات آبی از نظر آلودگی به استرانسیوم ۹۰ یک ضرورت محسوب می‌شود. از اهداف مهم این مطالعه، اندازه‌گیری رادیونوکلئید استرانسیوم ۹۰ در ماهی زمین‌کن دمنواری در مناطق ساحلی استان بوشهر بود. قابل ذکر است قبل از حادثه هسته‌ای باید اطلاعاتی در مورد میزان پرتوزایی در نمونه‌های محیطی در دسترس باشد تا بتوان بعد از حادثه نتایج قبل و بعد را با یکدیگر مقایسه نمود. بنابراین با توجه به اینکه استرانسیوم ۹۰ یک رادیونوکلئید مصنوعی است که فقط از طریق شکافت و حادثه هسته‌ای به وجود می‌آید، لذا اطلاعات به دست آمده از ماهی حاشیه خلیج فارس استان بوشهر در شرایط حادثه هسته‌ای مفید و کاربردی خواهد بود.

قابل ذکر است تاکنون این‌گونه از ماهی‌ها در خلیج فارس از نظر آلودگی به استرانسیوم ۹۰ مورد مطالعه قرار نگرفته بود و اطلاعاتی در این زمینه موجود نیست. بنابراین پایش

سطوح زمینه پرتوزایی در نمونه‌های واقعی نیز از اهداف دیگر محسوب گردید (۲۳).

از اهداف دیگر این مطالعه اتخاذ روش بهینه جهت اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ در نمونه‌هایی مانند ماهی بود. به دلیل شباهت شیمیایی کلسیم با استرانسیوم، جداسازی کلسیم و بدست آوردن بازده شیمیایی بالا برای استرانسیوم اهمیت داشت. از طرفی دیگر از آنجا که در این مطالعه نمونه‌های محیطی مد نظر بود، لذا به دلیل احتمال پایین بودن غلظت استرانسیوم ۹۰ در این گونه از نمونه‌ها، روش به‌کار گرفته شده باید دارای بازده شیمیایی و گزینش‌پذیری بالا بود تا کم‌ترین پرتوزایی نیز آشکارسازی می‌شد.

با توجه به آنالیزهای انجام شده پرتوزایی استرانسیوم ۹۰ در ماهی‌های نمونه‌برداری شده در ۱۰ منطقه مورد بررسی، به مقدار ۰/۲۵۲-۰/۹۵۵ بکرل بر کیلوگرم به دست آمد. این مقادیر غلظتی استرانسیوم ۹۰ نشان دهنده این است که مقدار این رادیونوکلئید در ماهی‌های منطقه نمونه‌برداری شده پایین و در محدوده کمترین مقدار قابل آشکارسازی می‌باشد، لذا شواهد آلودگی

یافت نشد. احتمال می‌رود این مقدار ناچیز آلودگی ناشی از حوادث هسته‌ای گذشته مانند چرنوبیل یا فوکوشیما باشد. از طرفی با توجه به نتایج آنالیزهای آماری انجام شده بر روی داده‌ها، مشخص گردید اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار استرانسیوم ۹۰ در ۱۰ موقعیت نمونه‌برداری شده با یکدیگر در نقاط ساحلی خلیج فارس وجود ندارد. بنابراین توجیه تفاوت ناچیز در مقادیر اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف قابل اغماض می‌باشد.

سازمان‌های بین‌المللی نظیر سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان مواد غذایی و کشاورزی (FAO) و آژانس بین‌المللی انرژی اتمی که فعالیت‌هایی در زمینه بررسی و کنترل مواد غذایی دارند، آستانه بررسی و مداخله را محاسبه نموده‌اند. آستانه بررسی، حداکثر میزان آلودگی پرتوی در شرایط عادی است که در صورت افزایش این مقادیر، باید بررسی‌های تکمیلی به منظور دستیابی به منشاء افزایش دز دریافتی مردم انجام شده و اقدامات لازم به منظور کاهش پرتوایی تا حد کمتر از آستانه بررسی صورت پذیرد. این آستانه برای استرانسیوم ۹۰ در مواد غذایی مانند ماهی، ۱۰ بکرل بر کیلوگرم محاسبه گردیده است. آستانه مداخله نیز حداکثر میزان آلودگی پرتوی مجاز در مواد غذایی در مواقع سوانح هسته‌ای می‌باشد. این مقدار آستانه مداخله، ۱۰۰ بکرل بر کیلوگرم محاسبه شده است (۲۴). بر اساس نتایج جدول ۱، مقادیر اندازه‌گیری شده استرانسیوم ۹۰ در نمونه‌های ماهی مورد آزمون، پایین‌تر از حد آستانه بررسی و مداخله می‌باشد. همچنین عدم قطعیت محاسبه شده در فرایند آنالیز نمونه‌ها، بر اساس مؤلفه‌های عدم قطعیت مربوط به راندمان شمارش، بازده شیمیایی، جرم نمونه و زمان شمارش نمونه می‌باشد. پارامترهای مؤثر بر تعیین کمترین مقدار قابل

آشکارسازی شامل زمان شمارش نمونه، زمان شمارش زمینه، آهنگ شمارش کل نمونه و آهنگ شمارش کل زمینه در نظر گرفته شد. قابل ذکر است برای هر نمونه باید به طور اختصاصی کمترین مقدار قابل آشکارسازی نیز گزارش شود. از این‌رو بدلیل متفاوت بودن مقادیر پارامترهای مؤثر بر کمترین مقدار قابل آشکارسازی در هر آنالیز، لذا این مقادیر در هر نمونه اندکی با هم تفاوت دارند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود کمترین مقدار آشکارسازی محاسبه شده در این مطالعه، حد آستانه بررسی و مداخله را پوشش می‌دهد (۲۵).

با توجه به آنالیزهای انجام شده و بر اساس نتایج جدول ۱، میانگین بازده شیمیایی استرانسیوم $97/34 \pm 0/97$ درصد محاسبه گردید. این مقدار بازده شیمیایی، با توجه به میزان غلظت بالای کلسیم در استخوان ماهی، بازده بالایی محسوب می‌شود. در مطالعات گذشته مقدار بازده شیمیایی محاسبه شده در نمونه‌های مواد غذایی ۷۰-۸۰ درصد گزارش گردیده است (۲۶). از آنجا که بازده ستون کروماتوگرافی با افزایش کلسیم در نمونه کاهش می‌یابد، با استفاده از روش ارائه شده، درصد بالایی از کلسیم توسط فرآیند پیش تغلیظ جدا می‌شود. بنابراین این موضوع نشان‌دهنده این است که روش ارائه شده بازده شیمیایی بالایی دارد و می‌توان با استفاده از این روش پرتوایی‌های پایین نیز در نمونه‌ها شناسایی نمود. همچنین پایین بودن مقدار انحراف استاندارد محاسبه شده، نشان می‌دهد اندازه‌گیری بازده شیمیایی از دقت خوبی برخوردار بوده است.

از طرفی دیگر در روش‌های گذشته مانند شمارش به روش چرنکوف، از آنجا که نیاز به رشد ایتريوم ۹۰ طی ۲۱ روز می‌باشد لذا روش آنالیز بسیار زمان‌بر بود. اما در روش ارائه شده در این مطالعه همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد مدت زمان لازم جهت اندازه‌گیری

استرانسیوم ۹۰ در ماهی از فرایند آماده‌سازی تا شمارش نمونه‌ها به طور متوسط حدود ۳۵ ساعت می‌باشد. از این رو روش گفته شده در شرایط حادثه که نیاز به حصول نتیجه در زمان کوتاه‌تر می‌باشد، کاربرد دارد.

قابل ذکر است فرایند اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ در ماهی زمین‌کن مورد آنالیز دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. از جمله محدودیت‌ها شامل محدودیت در روش نمونه‌برداری بود. از آنجا که این‌گونه از ماهی‌ها در کف دریا و در زیر ماسه‌ها خود را پنهان می‌کند، لذا نمونه‌برداری از آن توسط گرگور امکان‌پذیر نبود. جهت رفع این مشکل، فرایند نمونه‌برداری توسط تور ماهیگیری مخصوص انجام پذیرفت. در برخی از مناطق نمونه‌برداری، این‌گونه از ماهی کمتر از مناطق دیگر یافت می‌شد که این مشکل با انجام نمونه‌برداری در دفعات مکرر رفع گردید. از طرفی دیگر این‌گونه از ماهی‌ها در هنگام نمونه‌برداری و احساس خطر، جهت دفاع از خود ماده ژلاتینی شکل تراوش می‌کنند که بدن آن‌ها را بسیار لغزنده می‌سازد. وجود این ماده ژلاتینی، تمیز کردن و فرایند آماده‌سازی نمونه‌ها را مشکل می‌سازد. بدین منظور جهت کم کردن این اثر، نمونه‌ها قبل از آماده‌سازی حدود یک ساعت در آب قرار داده شدند تا از ماده ژلاتینی پاک گردند. مهم‌ترین محدودیت‌های موجود در روش جداسازی، گران بودن Sr-resin می‌باشد که در برخی از موارد تهیه این رزین را با مشکل مواجهه می‌کند. لذا جهت کاهش اثر محدودیت موجود، Sr-resin توسط EDTA، آب مقطر و اسید نیتریک احیاء و تا ۱۰ بار قابلیت استفاده مجدد پیدا می‌کند.

گزینه‌پذیری روش، مدت زمان کوتاه جهت آنالیز و شمارش نمونه توسط سیستم شمارشگر سنتیلاسیون مایع با قدرت تفکیک‌پذیری بالا، از ویژگی‌های برجسته روش ارائه شده محسوب می‌شود.

اعتبار روش گفته شده با استفاده از مواد مرجع IAEA و همچنین استرانسیوم ۹۰ اسپایک شده بر روی نمونه ماهی‌های مورد آزمون صحت‌سنجی گردید. طبق نتایج حاصله از جدول ۲، در ستون سوم مقدار استرانسیوم ۹۰ اندازه‌گیری شده و در ستون چهارم مقدار واقعی مورد انتظار آورده شده است. در ستون پایانی درصد خطای نسبی بین مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار واقعی محاسبه گردید. قابل ذکر است درصد میانگین خطای نسبی جهت اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ با استفاده از روش ارائه شده، ۲/۹۷ به دست آمد. بر اساس استاندارد ANSI/HPS N13.30، مقدار درصد خطای نسبی در محدوده ۵۰-۲۵ قابل پذیرش می‌باشد. با توجه به اینکه درصد میانگین خطای نسبی محاسبه شده در این محدوده بود، بنابراین روش ارائه شده قابل اطمینان لحاظ گردید.

نتیجه‌گیری

با توجه به رشد روزافزون انواع سرطان‌ها، اندازه‌گیری مواد پرتوزا در محیط زیست از اهمیت به سزایی برخوردار است. یکی از مهم‌ترین موارد ابتلا به سرطان، مواد پرتوزا می‌باشند که به‌طور مصنوعی تولید می‌شوند و افراد در معرض دریافت پرتوهای ناشی از تابش این مواد قرار می‌گیرند. از جمله رادیونوکلئید مصنوعی خطرناک استرانسیوم ۹۰ می‌باشد. از این‌رو در این مطالعه، مقدار استرانسیوم ۹۰ در نمونه ماهی زمین‌کن به عنوان غذای اصلی مردم استان بوشهر اندازه‌گیری گردید. با توجه به اینکه مقدار استرانسیوم ۹۰ اندازه‌گیری شده قابل ملاحظه نمی‌باشد و این مقادیر کمتر از حدود مجاز گزارش شده است، بنابراین نیاز به بررسی ویژه‌ای در این زمینه نمی‌باشد. همچنین روش اتخاذ شده یک روش رادیوشیمیایی سریع و بازده بالا

پژوهش انجام شده تحت حمایت هیچ سازمان یا مؤسسه‌ای نمی‌باشد.

تضاد منابع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

جهت اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ بر روی ماهی می‌باشد. استفاده از روش گفته شده به ویژه در شرایط حادثه با توجه به ضرورت کوتاه بودن روش آزمایشگاهی بسیار با اهمیت است. قابل ذکر است نتایج به‌دست آمده در این مطالعه برای ماهی سواحل خلیج فارس حاشیه استان بوشهر جهت اجرای برنامه پایش محیطی در زمینه اندازه‌گیری استرانسیوم ۹۰ مفید می‌باشد.

References:

- Hirose K, Igarashi Y, Aoyama M. Analysis Of The 50-Year Records Of The Atmospheric Deposition Of Long-Lived Radionuclides In Japan. *Appl Radiat Isot* 2008; 66(11): 1675-8.
- Stamoulis KC, Assimakopoulos PA, Ioannides KG, et al. Strontium-90 Concentration Measurements In Human Bones And Teeth In Greece. *Sci Total Environ* 1999; 229(3): 165-82.
- Koarai K, Kino Y, Takahashi A, et al. ^{90}Sr In Teeth Of Cattle Abandoned In Evacuation Zone: Record Of Pollution From The Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *Sci Rep* 2016; 6: 24077.
- Tayeb M, Dai X, Sdraulig S. Rapid And Simultaneous Determination Of Strontium-89 And Strontium-90 In Seawater. *J Environ Radioact* 2016; 153: 214-21.
- Sahoo SK, Kavasi N, Sorimachi A, et al. Strontium-90 Activity Concentration In Soil Samples From The Exclusion Zone Of The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Sci Rep* 2016; 6: 23925.
- Changizi V, Shafiei E, Zareh MR. Measurement Of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs And ^{40}K Activities Of Wheat And Corn Products In Ilam Province – Iran And Resultant Annual Ingestion Radiation Dose. *Iran J Public Health* 2013; 42(8): 903-14.
- Tazoe H, Obata H, Yamagata T, et al. Determination Of Strontium-90 From Direct Separation Of Yttrium-90 By Solid Phase Extraction Using DGA Resin For Seawater Monitoring. *Talanta* 2016; 152: 219-27.
- Shao Y, Yang G, Tazoe H, et al. A Review Of Measurement Methodologies And Their Applications To Environmental ^{90}Sr . *J Environ Radioact* 2018; 192: 321-333.
- Changizi V, Nazari R, Naseri S, et al. Measuring Radionuclides Concentration In Rice Field Soils Using Gamma Spectroscopy In Northern Iran. *Iran J Public Health* 2012; 41(2): 94-9.
- Froidevaux P, Bochud F, Haldimann M. Retention Half Times In The Skeleton Of Plutonium And ^{90}Sr From Above-Ground Nuclear Tests: A Retrospective Study Of The Swiss Population. *Chemosphere* 2010; 80(5): 519-24.
- Vajda N, Kim CK. Determination Of Radiostrontium Isotopes: A Review Of Analytical Methodology. *Appl Radiat Isot* 2010; 68(12): 2306-26.
- Froidevaux P, Geering JJ, Valley JF. ^{90}Sr In Deciduous Teeth From 1950 To 2002: The Swiss Experience. *Sci Total Environ* 2006; 367(2-3): 596-605.
- Mietelski JW, Gaca P, Zagrodzki P, et al. ^{90}Sr And Stable Strontium In Bones Of Wild, Herbivorous Animals From Poland. *J Radioanal Nucl Chem* 2001; 247: 363-70.
- Herranz M, Idoeta R, Rozas S, et al. Analysis Of The Use Of The IAEA Rapid Method Of ^{89}Sr

- And ^{90}Sr In Milk For Environmental Monitoring. J Environ Radioact 2017; 177: 48-57.
15. Habibi A, Boulet B, Gleizes M, et al. Rapid Determination Of Actinides And ^{90}Sr In River Water. Anal Chim Acta 2015; 883: 109-16.
 16. Ports And Maritime Organization. ICZM. Integrated Coastal Zone Management. (Accessed December 30, 2019, at <https://Iraniczm.Pmo.Ir/Fa/Coastal-zone/Coastalprovinces/Boushehr>)
 17. Maxwell SL, Culligan BK, Shaw PJ. Rapid Determination Of Radiostrontium In Large Soil Samples. J Radioanal Nucl Chem 2013; 295: 965-71.
 18. Hawkins CA, Shkrob IA, Mertz CJ, et al. Novel Tandem Column Method For The Rapid Isolation Of Radiostrontium From Human Urine. Anal Chim Acta 2012; 746: 114-22.
 19. Guérin N, Riopel R, Rao R, et al. An Improved Method For The Rapid Determination Of ^{90}Sr In Cow's Milk. J Environ Radioact 2017; 175-176: 115-9.
 20. Vajda N, Ghods-Esphahani A, Cooper E, et al. Determination Of Radiostrontium In Soil Samples Using A Crown Ether. J Radioanal Nucl Chem 1992; 162: 307-23.
 21. Wallac 1220 Quantulus. Ultra Low Level Liquid Scintillation Spectrometer. Instrument Manual 2002; 1220-931-06.
 22. Alvarez A, Navarro N, Salvador S. New Method For ^{90}Sr Determination In Liquid Samples. J Radioanal Nucl Chem 1995; 191: 315-22.
 23. Shahbazi Gahrouei D, Abdolahi M. Investigation Of Association Between High Background Radiation Exposure With Trace Element concentrations' (Copper, Zinc, Iron And Magnesium) Of Hot Springs Workers Blood In Mahalat. Iran South Med J 2014; 17(4): 687-94. (Persian)
 24. Food And Agriculture Organization Of The United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organization, et al. International Basic Safety Standards For Protection Against Ionizing Radiation And For The Safety Of Radiation Source, Safety Series No.115. Vienna: IAEA, 1996.
 25. Mowlavi AA, Mohammad Jafari F. The Estimated Annual Effective Dose Caused By Radon and Thoron Gases in the Vicinity of Active Faults in the North East of Iran. Iran South Med J 2017; 20(1): 70-6. (Persian)
 26. Lopes I, Mourato A, Abrantes J, et al. Quality Control Assurance Of Strontium-90 In Food-stuffs By LSC. Appl Radiat Isot 2014; 93: 29-32.

Original Article

Measurement of Strontium-90 in the Persian Gulf Fish by Extraction Chromatography with Sr-resin and Liquid Scintillation Counter

M. Firouzabadi (MSc)^{1*}, H. Jalali Jahromi (PhD)^{1**}, H. Anaraki Ardakani (PhD)¹

¹ Department of Chemistry, School of Chemical engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran

(Received 16 May, 2020

Accepted 19 Sep, 2020)

Abstract

Background: Despite its beneficial effects on human life, the nuclear industry has its own risks. Strontium 90 (⁹⁰Sr) is one of the most dangerous radionuclides produced by the uranium 235 fission, and replaces the bone calcium in the human body, which causes cancer. Ensuring the safety of nuclear facilities to protect employees, people and the environment is among the main goals of nuclear safety. Given close proximity of the Bushehr nuclear power plant to the Persian Gulf and the likelihood of ⁹⁰Sr leaking into the marine ecosystem, this study aimed to measure this radionuclide in a sample of the bar-tail flathead fish (*Platycephalus indicus*) found in the Persian Gulf coastline, as people's main source of food in the region.

Materials and Methods: Samples were taken from 10 points around the Persian Gulf coastline. The samples were analyzed using chromatographic extraction by Sr-resin and counted by the Liquid Scintillation Counter.

Results: The concentration of strontium 90 measured in the fish samples was 0.252- 0.955 Bq.kg⁻¹. The mean chemical efficiency in this method was 97.34 ± 0.97 percent.

Conclusion: The amount of strontium 90 found in these samples was negligible and within the least detectable range. Despite the 10-year activity of Bushehr nuclear power plant, no evidence of contamination with strontium 90 was found. These results will be very useful in assessing the underlying contamination in environmental monitoring programs.

Keywords: Strontium 90, Cancer, Fish, Liquid Scintillation Counter, Environmental monitoring

©Iran South Med J.All right reserved

Cite this article as: Firouzabadi M, Jalali Jahromi H, Anaraki Ardakani H. Measurement of Strontium-90 in the Persian Gulf Fish by Extraction Chromatography with Sr-resin and Liquid Scintillation Counter. Iran South Med J 2021; 23(6): 541-553

Copyright © 2021, Firouzabadi, et al This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

****Address for correspondence:** Department of Chemistry, School of Chemical engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran. Email: hossein.jalali1354@gmail.com

*ORCID: 0000-0002-5168-4583

**ORCID: 0000-0001-8483-6013

Website: <http://bpums.ac.ir>

Journal Address: <http://ismj.bpums.ac.ir>