

مطالعه الگوی رسوب گذاری عناصر پرتوزا در محدوده آبریز رود گلوگاه به تالاب میانکاله در شمال ایران

رضا پورایمانی، سید محسن مرتضوی شاهرودی*، و روشنگ قربانی

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، ایران

پست الکترونیکی: m-mortazavi@araku.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۱۱؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹)

چکیده:

در این پژوهش، غلظت پرتوزایی در خاک و رسوبات رود گلوگاه در ضلع جنوبی تالاب میانکاله در شمال ایران که از ارتفاعات شمالی رشته کوه البرز سرچشمه می گیرد و همچنین رسوبات مصب آن رود در بستر تالاب مطالعه شد. میانگین غلظت ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{137}Cs در رسوبات رود گلوگاه به ترتیب $32/12$ ، $32/47$ و $339/81$ بکرل برکیلوگرم، در خاک حاشیه رودخانه به ترتیب $34/20$ ، $38/28$ و $505/94$ بکرل برکیلوگرم، و در بستر تالاب نزدیک دهانه خروجی رود گلوگاه به ترتیب $20/88$ ، $21/22$ و $287/90$ بکرل برکیلوگرم به دست آمد. میانگین غلظت پرتوزایی در رسوبات رودخانه کمتر از خاک اطراف آن بود که حاکی از شستشوی نمک های مواد پرتوزا و انتقال آن ها به مناطق پایین دستی توسط جریان آب رودخانه است. غلظت بالای ^{40}K در پایین دست رودخانه می تواند به دلیل آلودگی ناشی از کودهای پتاسیمی برای مصارف کشاورزی در آن منطقه باشد. الگوی توزیع ^{226}Ra در تالاب میانکاله نزدیک به خروجی رود گلوگاه، رسوب گذاری سریع این ویژه هسته را بلافاصله پس از خروج از دهانه رودخانه نشان می دهد که در رسوبات با بافت ماسه ای-گلی ته نشین می شود. برای انتشار ^{232}Th و ^{40}K ، الگوی تقریباً مشابهی به دست آمد که تأثیرپذیری مشابه نحوه انتشار این عناصر از جریان های آبی تالاب میانکاله و همچنین نحوه مشابه جذب نمک های توریم و پتاسیم توسط رسوبات را نشان می دهد. نحوه توزیع ^{137}Cs در تالاب نشان دهنده رسوب گذاری این ویژه هسته در نواحی دور از دهانه خروجی رودخانه و در ناحیه آرام تالاب است که علت آن تحرکت پذیری بالای سزیم است که باعث شده توسط جریان آب به نقاط دور دست منتقل شود.

واژه های کلیدی: غلظت پرتوزایی، تالاب میانکاله، رسوبات، خاک، آشکارساز HPGe

سرطان گردد [۲]. رایج ترین مواد پرتوزای طبیعی ($^1\text{NORMs}$)

۱. مقدمه

^{40}K و ویژه هسته های پرتوزای دختر در زنجیره واپاشی ^{238}U ، ^{232}Th و ^{235}U هستند. غلظت عناصر پرتوزای طبیعی در هر منطقه به ویژگی های جغرافیایی و زمین شناسی آن منطقه بستگی دارد و در نتیجه مقدار آن در خاک هر نقطه از جهان متفاوت است [۱]. به طور میانگین، مقدار غلظت اورانیوم و توریم در پوسته خارجی زمین به ترتیب $2/7 \text{ mg/kg}$ و

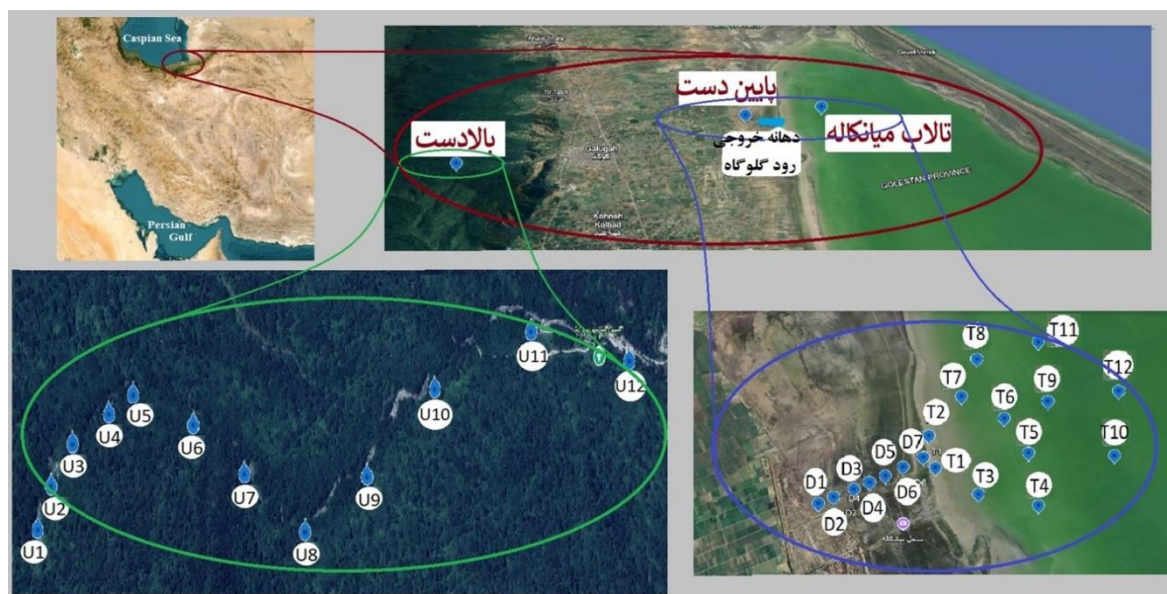
آگاهی از نحوه توزیع و انتشار عناصر پرتوزای طبیعی و مصنوعی در محیط برای ارزیابی تأثیر تشعشعات آن ها بر سلامت انسان بسیار مهم است [۱]. قرار گرفتن انسان در معرض پرتوهای یونش زا می تواند سبب بروز بیماری های مختلف از جمله سوختگی، اختلالات ژنتیکی و یا حتی

۹/۶ mg/kg است و مقدار غلظت پتاسیم نیز به عنوان هشتمین عنصر از لحاظ فراوانی در پوسته زمین حدوداً ۸/۲٪ برآورد شده است [۳]. این رادیوایزوتوپ‌ها به صورت نمک‌های مختلف در خاک، سنگ‌ها و آب یافت می‌شوند و مقدار آن بستگی به نوع ماده پذیرنده آن دارد [۴]. سپس این نمک‌ها طی فرآیند انحلال در آب و همچنین هوازدگی و فرسایش خاک توسط جریان‌ات آب و هوایی و توسط آب رودخانه‌ها به محیط‌های دیگر منتقل شده و با توجه به ساختار شیمیایی خود و ویژگی‌های محیطی، بر اساس الگوی خاص خود در هر منطقه توزیع می‌شوند [۵]. علاوه بر مواد پرتوزای طبیعی، مواد پرتوزای مصنوعی مانند ^{137}Cs ، ^{90}Sr و $^{239+240}\text{Pu}$ که در اثر فعالیت‌های انسانی، از جمله آزمایش‌های تسلیحات هسته‌ای و حوادث هسته‌ای مانند حوادث چرنوبیل و فوکوشیما دایچی، وارد طبیعت شده‌اند و به صورت ذرات کلوئیدی پرتوزا در محیط‌های آبی در آمده و باعث افزایش سطح تابش محیطی و آلودگی رادیواکتیو در محیط‌های مختلف از جمله دریاها و اقیانوس‌ها شده‌اند [۸-۶]. هسته پرتوزای ^{137}Cs به عنوان یکی از محصولات شکافت در راکتورهای قدرت به دلیل تحرکت پذیری بالا، فرار بودن و نیمه عمر طولانی مدت، برای ارزیابی آلودگی هسته‌ای در هر منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است [۹]. رادیوایزوتوپ ^{137}Cs می‌تواند مستقیماً به اقیانوس‌ها، خاک و آب زیرزمینی راه یابد و یا می‌تواند به شکل ذرات ریز به عنوان بخشی از گرد و غبار حاوی عناصر پرتوزا در اتمسفر منتشر شده و از طریق جریان‌ات آب و هوایی به سایر نقاط دیگر منتقل شود و توسط ریزش‌های جوی در محیط‌های آبی و خاکی نشست پیدا کند [۱۰]. سپس این عنصر توسط ذرات رسی موجود در خاک و ذرات معلق در محیط آبی جذب می‌شود و در مدت زمان کوتاهی ته‌نشین شده و بر بستر محیط آبی رسوب می‌کند [۱۱، ۱۲]. علاوه بر آن، سایر فعالیت‌ها مانند استخراج مواد معدنی، استفاده از کودهای پتاسیمی و فسفات‌ها برای مصارف کشاورزی، مصرف زغال سنگ، تصفیه زباله‌های شهری و غیره باعث افزایش غلظت عناصر پرتوزا در محیط می‌شود [۱۳]. بوم‌سازگان‌های آبی شبکه‌های بسیار پیچیده‌ای

از فعل و انفعالات فیزیکی، شیمیایی و زیستی هستند که بر رفتار رادیونوکلیدها تأثیر می‌گذارند. رسوب در این بوم‌سازگان نقش یک مرکز مهاجرت برای انتقال عناصر پرتوزا را ایفا می‌کند که یک شاخص اساسی برای اندازه‌گیری آلودگی پرتوشناختی در محیط است [۱۴]. از این رو، اندازه‌گیری غلظت رادیونوکلیدها در رسوبات می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد سطح آلودگی ژئوشیمیایی یک منطقه ارائه دهد. هدف این پژوهش، اندازه‌گیری و بررسی میزان غلظت هسته‌های پرتوزای طبیعی و مصنوعی در رسوبات و خاک رودخانه گلوگاه از سرچشمه آن در کوهپایه‌های شمالی رشته کوه البرز تا خروجی آن به تالاب میانکاله و همچنین الگوی توزیع و انتشار این مواد در رسوبات قسمت نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه در تالاب میانکاله در ضلع جنوب شرقی دریای خزر است. تاکنون مطالعاتی در زمینه سطح پرتوزایی طبیعی و مصنوعی در حوزه‌های آبریز تالاب میانکاله برای رودهای قره‌سو و گز انجام شده است [۱۷-۱۵]، اما برای منطقه حوزه آبریز رود گلوگاه تاکنون مطالعه‌ای گزارش نشده است. با توجه به تراکم جمعیت در این منطقه و فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، دامپروری و صید ماهی در این ناحیه، اهمیت مطالعه و اندازه‌گیری و شناخت الگوی توزیع آلودگی رادیواکتیو در منطقه مورد مطالعه بیشتر نمایان می‌شود. در این پژوهش، غلظت عناصر پرتوزا در نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی (HPGe^1) اندازه‌گیری شد. سپس به منظور بررسی میزان انتقال این عناصر توسط جریان آب رودخانه، غلظت این هسته‌ها در هر نقطه، در رسوبات کف رودخانه و خاک کنار بستر رود مقایسه شد. همچنین به منظور درک بهتر الگوی انتشار و توزیع عناصر پرتوزای طبیعی و مصنوعی انتقال یافته از رود گلوگاه به تالاب میانکاله، نقشه توزیع این عناصر با کمک نرم افزار GIS^2 نسخه ۱۰٫۳ در قسمت جنوب غربی تالاب میانکاله و نزدیک به مصب رود گلوگاه رسم شده و نحوه توزیع تمامی عناصر مورد مطالعه در آن ناحیه، بررسی و تحلیل شد [۱۸].

۱. High-Purity Germanium detector

۲. Geographic Information System



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش و نقاط نمونه‌برداری در بالادست و پایین‌دست رودخانه گلوگاه و تالاب میانکاله.

۲. مواد و روش‌ها

٢.١. منطقة مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، شامل نقاط بالادستی و سرچشمه تا نقاط پایین دست نزدیک به دهانه خروجی رودخانه گلوگاه و همچنین نقاطی از تالاب میانکاله در نزدیکی ورودی آن رود است. رودخانه گلوگاه مربوط به حوزه آبریز تالاب میانکاله است که در ضلع جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد. ساختار زمین‌شناسی منطقه بالادستی این رودخانه از سنگ‌های پلوتونیک تشکیل شده است. در نتیجه، نمک‌های متشکل از هسته‌های پرتوزا به دلیل تحرک بالای آن‌ها در آب حل شده و طی این فرآیند می‌توانند وارد تالاب میانکاله شده و با رسوب گذاری در بستر آن، باعث سطح تابش‌های رادیواکتیو در آن منطقه شود [۱۷]. در شکل ۱، نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است.

فعالیت‌های انسانی اطراف خروجی رود گلوگاه به تالاب میانکاله کشاورزی، دامپروری و ماهیگیری است. استفاده از کودهای پتاسیمی برای مصارف کشاورزی می‌تواند آلودگی رادیواکتیو ناشی از هسته‌های پرتوزای پتاسیم را در آن ناحیه افزایش دهد. همچنین اگر غلظت پرتوزایی در منطقه مورد مطالعه بالا باشد، می‌تواند باعث افزایش مخاطره انتقال

۲.۲. نمونه برداری و مراحل نمونه سازی

آلودگی رادیواکتیو به دام و آبزیان آن منطقه شود. علاوه بر این، پساب‌های صنعتی حاوی ذرات کلئیدی با ورود به آب‌های سطحی وارد تالاب شده و می‌تواند سطح پرتوزایی را در نقاط مورد مطالعه افزایش دهد [۱۹].

در این پژوهش، سه منطقه مختلف شامل نقاط بالادستی سرچشمه رود گلوگاه، نقاط پایین دست نزدیک به خروجی آن رود، و ناحیه داخل تالاب میانکاله در نزدیکی مصب رود گلوگاه مورد بررسی قرار گرفتند. برای نقاط بالا و پایین دستی، از هر محل نمونه برداری، هم از رسوبات بستر و هم از خاک کناری رودخانه نمونه تهیه شد تا به بررسی تفاوت غلظت عناصر پرتوزا به دلیل انتقال آن‌ها توسط جریان آب پرداخته شود. نمونه برداری از بستر تالاب فقط شامل نمونه‌های رسوبی است که به روش غواصی انجام شد. ۱۲ نقطه بالادستی شامل ۲۴ نمونه (۱۲ نمونه رسوبی و ۱۲ نمونه خاک کنار رودخانه)، ۷ نقطه پایین دستی شامل ۱۴ نمونه (۷ نمونه رسوبی و ۷ نمونه خاک کنار رودخانه) و ۱۲ نمونه مربوط به تالاب (۱۲ نمونه رسوبی) است که در مجموع ۵۰ نمونه را شامل می‌شوند و در این پژوهش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. پس از نمونه برداری، نمونه‌ها آماده‌سازی و شماره گذاری شدند، مشخصات نمونه‌ها در جدول ۱

جدول ۱. مختصات جغرافیایی نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش.

کد نقطه مورد مطالعه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	منطقه مورد بررسی	نمونه مورد مطالعه
U۱	۵۳,۸۲۳۷۲	۳۶,۶۸۴۸۳	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
U۲	۵۳,۸۲۱۶۶	۳۶,۶۸۵۴۵	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
U۳	۵۳,۸۱۹۶۰	۳۶,۶۸۶۰۷	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
U۴	۵۳,۸۱۸۱۵	۳۶,۶۸۷۲۴	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
U۵	۵۳,۸۱۶۸۶	۳۶,۶۸۸۰۶	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
U۶	۵۳,۸۱۷۷۲	۳۶,۶۸۹۸۵	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
U۷	۵۳,۸۱۹۲۶	۳۶,۶۹۱۰۲	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
U۸	۵۳,۸۲۰۸۰	۳۶,۶۹۳۰۲	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
U۹	۵۳,۸۱۸۲۳	۳۶,۶۹۴۷۴	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
U۱۰	۵۳,۸۱۵۴۹	۳۶,۶۹۶۷۳	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
U۱۱	۵۳,۸۱۳۷۷	۳۶,۶۹۹۷۶	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
U۱۲	۵۳,۸۱۴۲۰	۳۶,۷۰۶۰۸	بالادست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
D۱	۵۳,۷۸۸۸۷	۳۶,۷۷۹۸۳	پایین دست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
D۲	۵۳,۷۸۸۸۷	۳۶,۷۸۱۴۱	پایین دست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
D۳	۵۳,۷۸۸۸۷	۳۶,۷۸۲۷۲	پایین دست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
D۴	۵۳,۷۸۸۸۷	۳۶,۷۸۴۳۰	پایین دست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
D۵	۵۳,۷۸۸۸۷	۳۶,۷۸۵۴۷	پایین دست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
D۶	۵۳,۷۸۸۸۰	۳۶,۷۸۶۸۶	پایین دست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
D۷	۵۳,۷۸۸۸۰	۳۶,۷۸۷۷۸	پایین دست رود گلوگاه	خاک کنار رودخانه- رسوب بستر رودخانه
T۱	۵۳,۸۱۳۲۶	۳۶,۷۸۹۷۹	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب
T۲	۵۳,۷۸۴۷۶	۳۶,۷۸۸۱۵	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب
T۳	۵۳,۸۲۱۱۵	۳۶,۷۹۵۷۰	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب
T۴	۵۳,۸۲۸۳۷	۳۶,۷۹۹۶۶	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب
T۵	۵۳,۸۲۰۸۵	۳۶,۸۰۴۴۴	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب
T۶	۵۳,۷۹۹۶۰	۳۶,۷۹۸۹۰	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب
T۷	۵۳,۷۷۳۶۲	۳۶,۸۰۰۰۹	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب
T۸	۵۳,۷۶۱۹۵	۳۶,۸۰۹۴۳	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب
T۹	۵۳,۸۰۰۸۰	۳۶,۸۰۹۹۲	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب
T۱۰	۵۳,۸۲۸۳۰	۳۶,۸۱۴۴۵	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب
T۱۱	۵۳,۷۸۰۴۸	۳۶,۸۱۸۰۸	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب
T۱۲	۵۳,۷۹۶۶۷	۳۶,۸۱۹۷۲	تالاب میانکاله نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه	رسوب کف تالاب

در جدول ۱ ارائه شده است.

پس از نمونه برداری، نمونه ها ابتدا در هوای آزاد به مدت یک هفته قرار گرفتند تا خشک شوند. سپس، برای حذف کامل رطوبت، به مدت ۸ ساعت در دستگاه کوره آزمایشگاهی تحت دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. پس از خشک سازی کامل، برای همگن سازی دانه بندی آن ها، نمونه ها کامل آسیاب شده و از الک ۰/۵۰۸ میلی متری عبور داده شدند. سپس، برای تجزیه و تحلیل بیناب سنجی گاما تمام نمونه ها در ظروف نگینی با حجم ۳۰۰ CC بسته بندی شدند. به منظور ممانعت از خروج گاز رادن که یک هسته پرتوزای گازی و فرار با نیمه عمر کوتاه است، ظروف نمونه کاملاً آب بندی شدند. جرم هر نمونه برابر ۲۵۵ گرم است.

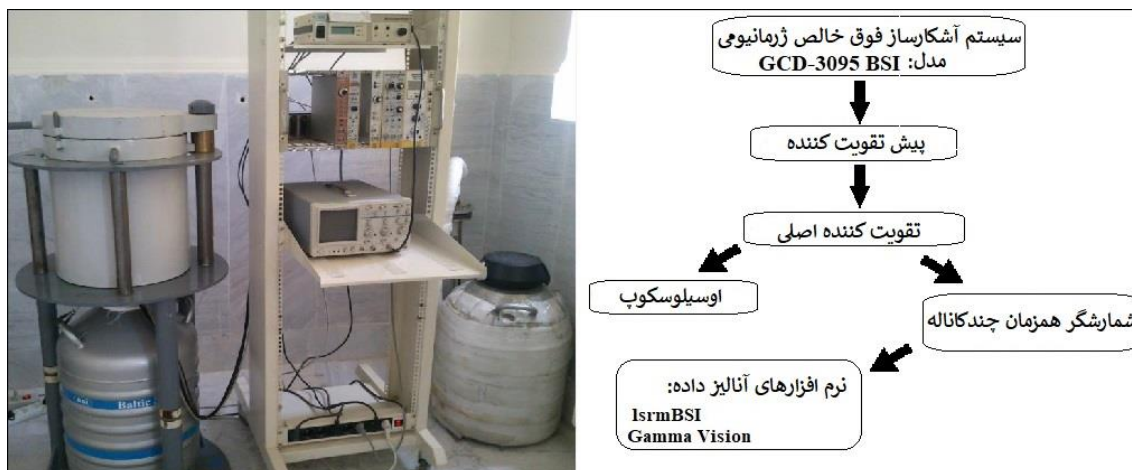
۳.۲. هسته های پرتوزای طبیعی و مصنوعی

در این پژوهش، غلظت عناصر پرتوزای ^{226}Ra ، ^{232}Th در زنجیره های واپاشی اورانیوم و توریم و همچنین عناصر پرتوزای با واپاشی منفرد ^{40}K و ^{137}Cs محاسبه شد. سه زنجیره اورانیوم، اکتینیم و توریم به دلیل این که دراز عمرترین هسته زنجیره آن ها دارای نیمه عمر قابل مقایسه با عمر کره زمین است، هنوز به شکل طبیعی در طبیعت موجودند. هسته های هر زنجیره در حالت تعادل دیرپا قرار دارند و در این حالت فعالیت تک تک هسته های پرتوزا در زنجیره با یکدیگر برابرند و با اندازه گیری فعالیت یک هسته از زنجیره، می توان فعالیت سایر هسته های پرتوزای دیگر موجود در آن را محاسبه کرد. در زنجیره اورانیوم، برای برقراری تعادل در تمام زنجیره بایستی از فرار گاز رادن از ظرف نمونه جلوگیری کرد تا عناصر پرتوزای بعد از ^{226}Ra نیز با بقیه هسته های موجود در زنجیره به طور کامل به تعادل برسد. در این حالت با استفاده از اندازه گیری فعالیت ^{214}Pb و ^{214}Bi ، فعالیت ^{226}Ra و ^{238}U مشخص می شود. در سری توریم، ^{228}Ac قبل از ^{226}Ra قرار دارد، بنابراین فرار گاز رادن تاثیری در فعالیت ^{228}Ac ندارد. بنابراین، با تعیین فعالیت ^{228}Ac ، فعالیت ^{232}Th نیز مشخص می گردد. دراز عمرترین هسته زنجیره اکتینیم، ^{235}U است که مقدار آن ۰/۷٪ از اورانیوم طبیعی را شامل می شود که بسیار ناچیز است. از این رو، معمولاً در مطالعات محیطی

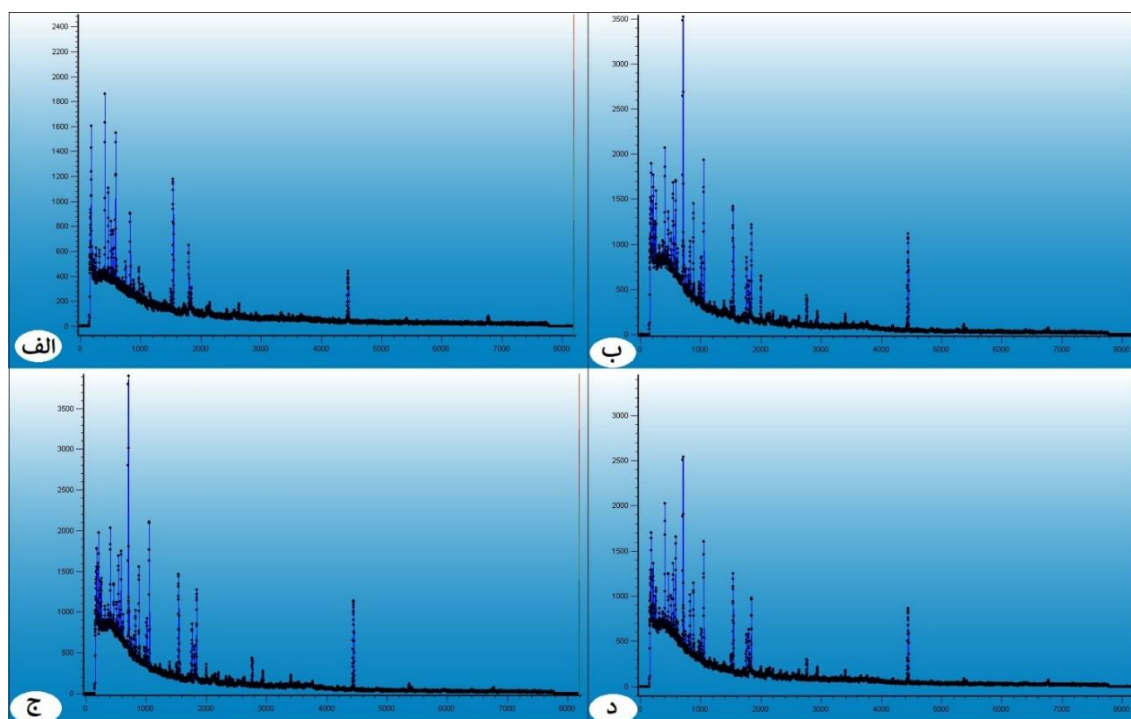
مبتنی بر بیناب سنجی گاما بررسی نمی شوند. هسته های طبیعی پرتوزای ^{40}K در اثر واپاشی به ^{40}Ar و ^{40}Ca تبدیل می شود که هردو پایدار هستند. همچنین هسته های پرتوزای مصنوعی ^{137}Cs به هسته پایدار ^{137}Ba تبدیل می شود. بنابراین برای تعیین فعالیت این هسته ها، از گامای مشخصه خودشان استفاده می شود. برای برقراری تعادل فعالیت بین ویژه هسته های ^{226}Ra و ^{222}Rn از زنجیره واپاشی ^{238}U ، بین زمان آماده سازی نمونه و انجام طیف سنجی، حداقل ۵۰ روز فاصله زمانی در نظر گرفته شد [۲۲-۲۰]. سپس به مدت یک شبانه روز از هر نمونه، طیف برداری انجام شد.

۴.۲. طیف نگاری گاما

در این پژوهش، طیف نگاری گامای تمامی نمونه های خاک و رسوبی با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیمی (HPGe) هم محور نوع P مدل GCD-۳۰۱۹۵ BSI ساخت شرکت ((Baltic Scientific Instrument (۰۰۵- Latvia) انجام شد. این آشکارساز دارای قدرت تفکیک انرژی ۱/۹۵ کیلو الکترون ولت برای خط گامای ^{137}Cs ۱۳۳۲/۵۲۰ کیلو الکترون ولت مربوط به ^{60}Co ، ولتاژ کاری ۳۰۰۰ ولت و نرم افزار lsrmBSI بود. تجزیه و تحلیل طیف های ثبت شده با استفاده از نرم افزار ۳۲ Maestro II Gamma Vision محصول شرکت EG&G Ortec صورت گرفت. برای کاهش یا از بین بردن خطای ناشی از تابش های زمینه، آشکارساز در مرکز هندسی یک حفاظ به ضخامت ۱۰ سانتی متر از جنس سرب که با یک روکش مسی به ضخامت ۲ میلی متر احاطه شده است، قرار داده شد. پرتوهای کیهانی شامل فوتون های کم انرژی و ذرات الکترون به راحتی توسط سرب جذب شده و همچنین پرتوی ایکس ثانویه تولیدی با انرژی ۷۳/۹ keV در سرب توسط این لایه نازک مسی جذب می شود. در نتیجه سطح تابش زمینه ورودی به آشکارساز به مقدار بسیار زیادی کاهش می یابد [۲۳]. همچنین به منظور تصحیح تابش زمینه در نرم افزار تحلیل گر مزبور، طیف ثبت شده برای ظرف خالی در شرایط یکسان از طیف اصلی هر نمونه کسر شد. در شکل ۲، تصویر آشکارساز با مشخصات ذکر شده و سامانه آشکارسازی نمایش داده شده است.



شکل ۲. آشکارساز HPGe و سامانه الکترونیکی آشکارسازی.



شکل ۳. نمونه طیف‌های (الف) U-۱ رسوب، (ب) U-۱ خنک، (ج) D-۱ خنک و (د) T۵-در این مطالعه.

بازدهی مطلق آشکارساز (ϵ) بر حسب درصد با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$\epsilon(\%) = \frac{N_i}{Atc \times P_n(E_i) \times t} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه (۱)، N_i شمارش خالص زیر قله تمام انرژی متناظر با انرژی E_i ، فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای موجود در ظرف استاندارد برحسب بکرل، $P_n(E_i)$ احتمال انتشار فوتون گاما با انرژی E_i به ازای هر واپاشی برحسب درصد و t زمان طیف‌برداری از نمونه برحسب ثانیه است. معادله ریاضی کالیبراسیون انرژی توسط اندازه‌گیری بازدهی آشکارساز برای

برای کالیبراسیون انرژی و منحنی بازدهی آشکارساز، از نمونه‌های مرجع $RGK-1$ ، $RGTh-1$ ، $RGU-1$ و $RGK-1$ تایید شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی استفاده شد.

این مواد در ظرفی از جنس پلی اتیلن با هندسه مخروط برش خورده با قطر داخلی قاعده، قطر داخلی بالا، ارتفاع و ضخامت به ترتیب $76/46$ ، $85/80$ ، $65/58$ و 1 میلیمتر، و وزن هر نمونه برابر با 255 گرم قرار گرفتند. نمونه‌های مرجع نیز بسته‌بندی و آب‌بندی گردیدند و طیف گامای آن‌ها بعد از گذشت حداقل 50 روز ثبت گردید.

انرژی‌های گامای مختلف تعیین شد. با استفاده از منحنی بازدهی، فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا با استفاده از رابطه (۲) تعیین گردید:

$$Act = \frac{N_i}{\epsilon(\%) \times P_n(E_i) \times t \times m} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه (۲)، Act فعالیت ویژه نمونه بر حسب بکرل بر کیلوگرم، m جرم نمونه بر حسب کیلوگرم، همچنین N_i ، $P_n(E_i)$ و ϵ همان کمیت‌های ذکر شده در رابطه (۱) هستند. از پرتوی گامای ^{214}Pb با انرژی ۳۵۱/۹۳ keV و پرتوی گامای ^{214}Bi با انرژی ۶۰۹/۳۱ keV برای تعیین ویژه‌فعالیت ^{226}Ra ، و برای ^{232}Th از دو خط گامای ^{228}Ac ، یکی با انرژی ۹۱۱/۲۱ keV با احتمال واپاشی ۲۶/۶٪ و دیگری با انرژی ۹۶۸/۹۷ keV با احتمال واپاشی ۱۷/۴٪ استفاده شده است. همچنین برای محاسبه فعالیت ویژه هسته‌های ^{40}K و ^{137}Cs خطوط گامای این هسته‌ها به ترتیب با انرژی‌های ۱۴۶۰/۷۰ keV و ۶۶۱/۶۶ keV استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار EG&G Ortec GammaVision ۳۲ طیف گامای تمامی نمونه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، و فعالیت ویژه هر کدام از عناصر مورد مطالعه محاسبه شد. نمونه‌ای از طیف‌های ثبت شده در شکل ۳، نمایش داده شده است.

۳. نتایج و بحث

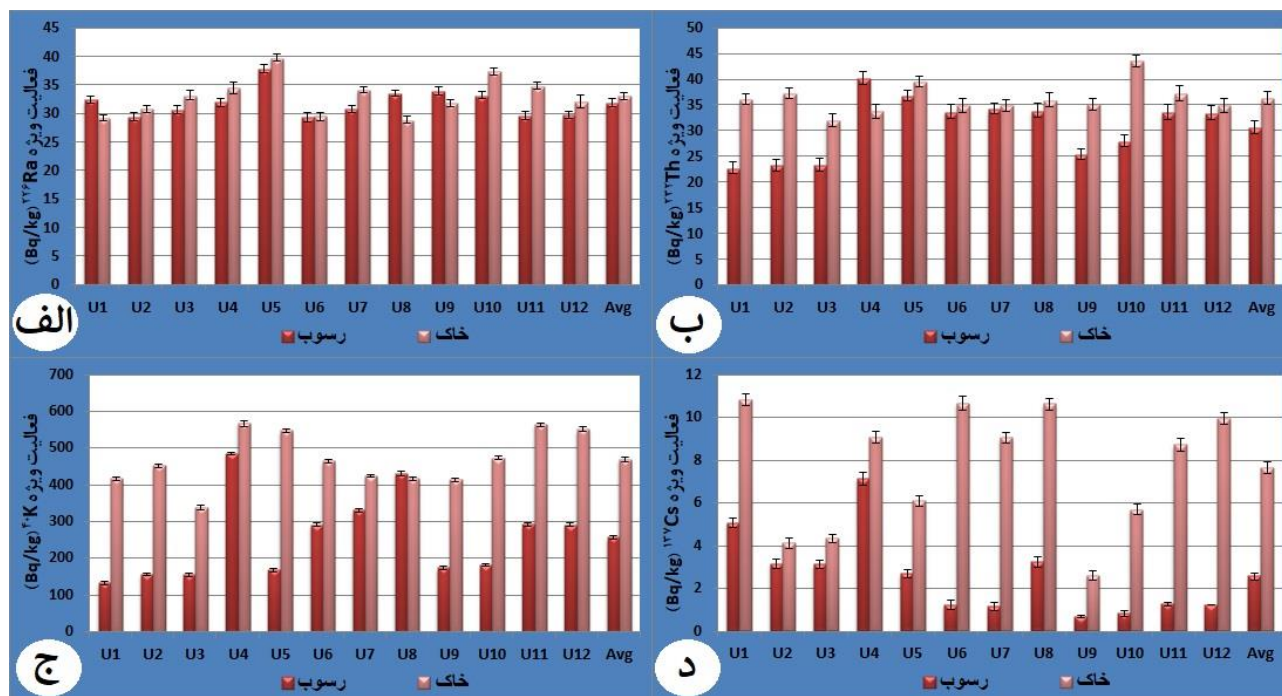
نتایج اندازه‌گیری فعالیت ویژه عناصر پرتوزا در نمونه‌های خاک و رسوبی مورد مطالعه در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نمایش داده شده و خلاصه نتایج آن در جدول ۲ درج شده است. میانگین فعالیت ویژه ^{226}Ra در خاک و رسوبات بالادستی رود گلوگاه و در رسوبات مربوط به تالاب کمتر از مقدار میانگین جهانی یعنی ۳۵ بکرل بر کیلوگرم است، اما در خاک و رسوبات پایین‌دستی تقریباً در محدوده میانگین جهانی است. در مورد ^{232}Th ، میانگین فعالیت ویژه این نوع هسته پرتوزا در رسوبات و خاک بالادستی و در نمونه‌های رسوبی مربوط به پایین‌دست و تالاب کمتر از مقدار میانگین جهانی یعنی ۴۰ بکرل بر کیلوگرم است. فعالیت این ویژه‌هسته در نمونه‌های خاک بالادستی اندکی بیشتر از مقدار میانگین جهانی و تقریباً نتایج آن نزدیک به نتایج به دست آمده برای رسوبات و خاک

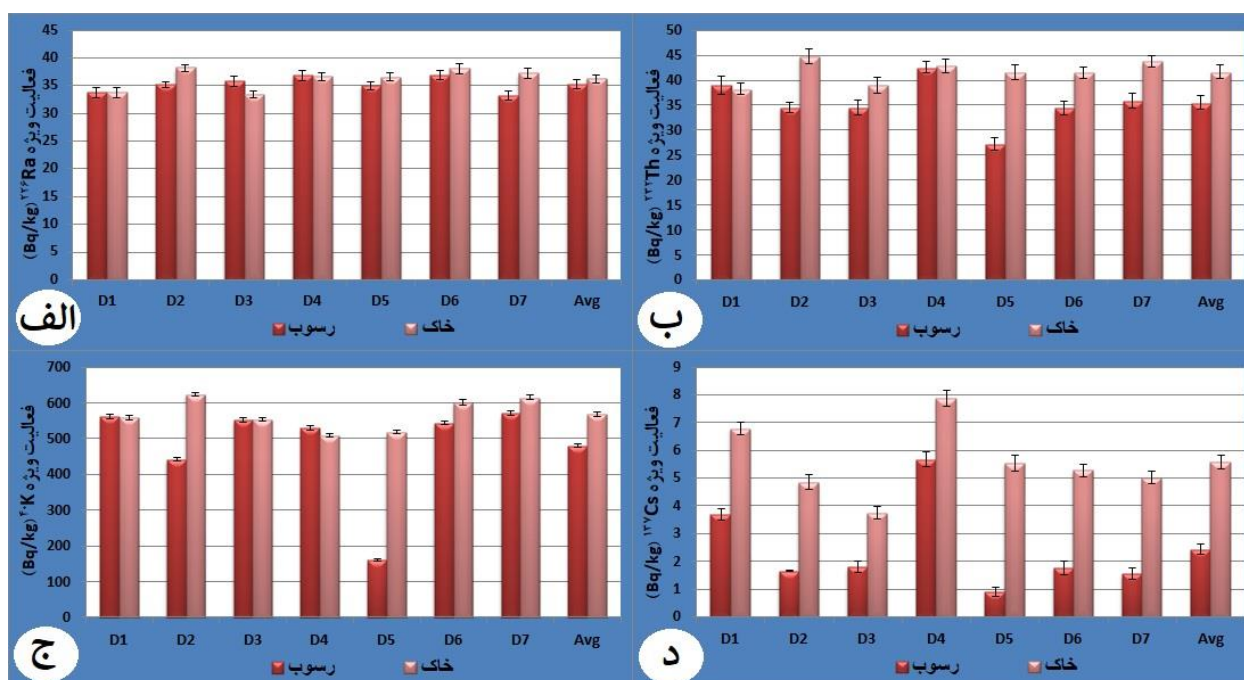
بالادست رود قرسو در ضلع جنوب شرقی حوضه آبریز میانکاله است [۲۴]. میانگین فعالیت ویژه ^{40}K در رسوبات بالادستی و تالاب کمتر از مقدار میانگین جهانی یعنی ۴۰۰ بکرل بر کیلوگرم است. با این حال، در خاک و رسوبات پایین‌دستی در ناحیه دهانه خروجی رود گلوگاه چنین وضعیتی مشاهده نمی‌شود و مقدار فعالیت ویژه این هسته پرتوزا در خاک دهانه رود گلوگاه حدود ۴۲٪ بالاتر از مقدار میانگین جهانی است [۱]. دلیل بالا بودن فعالیت ^{40}K در این ناحیه احتمالاً به دلیل استفاده از کودهای پتاسیمی برای مصارف کشاورزی باشد که موجب بالا رفتن غلظت پتاسیم در خاک منطقه مورد مطالعه شده است. این نتایج با نتایج مطالعات گذشته‌ای که در منطقه نزدیک به منطقه مورد مطالعه، یعنی در دهانه رودهای گز و قره‌سو به تالاب میانکاله انجام شده، هم‌خوانی دارد. در آن مطالعات نیز افزایش غلظت ^{40}K در رسوبات و خاک نواحی نزدیک به دهانه خروجی رودخانه گزارش شد که مهم‌ترین علت آن می‌تواند آلودگی ناشی از کودهای پتاسیمی در آن نواحی باشد [۱۶، ۱۵]. در مورد ^{137}Cs ، نتایج نشان‌دهنده آلودگی منطقه مورد مطالعه به این هسته پرتوزای مصنوعی است. منشأ این آلودگی را می‌توان انتقال این نوع آلودگی از خارج از کشور توسط جریانات آب و هوایی مانند بادهای مدیترانه‌ای به ناحیه شمالی رشته‌کوه البرز در شمال ایران دانست. دقیقاً مشابه این نتایج برای حوزه‌های آبریز گز و قره‌سو در ناحیه تالاب میانکاله به دست آمده است. نتایج به شکل کلی تفاوت معناداری را بین غلظت هسته پرتوزا در رسوبات بستر رودخانه و خاک کناری آن نشان می‌دهد. به منظور مقایسه فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای مختلف در رسوبات و خاک، در شکل ۷ نمودار ستونی میانگین غلظت فعالیت ویژه‌هسته‌های پرتوزای مختلف در نمونه‌های رسوبی و نمونه‌های خاکی کنار رود گلوگاه نمایش داده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است، غلظت هسته پرتوزای ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{137}Cs در خاک کناری رودخانه همواره بالاتر از رسوبات بستر رودخانه گلوگاه است. این اختلاف را می‌توان به شست‌شوی نمک‌های مواد پرتوزا و

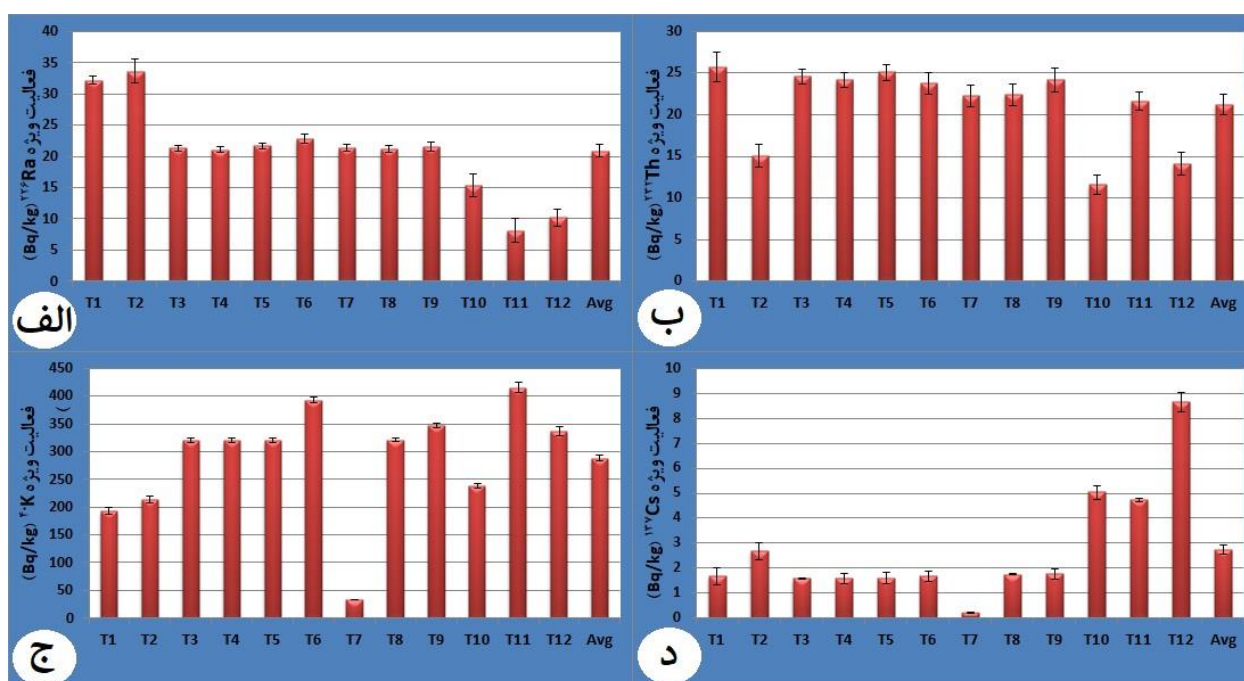
جدول ۲. خلاصه نتایج اندازه‌گیری فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا برحسب بکرل بر کیلوگرم.

نام عنصر پرتوزا و ناحیه نمونه‌برداری		میانگین		بیشترین		کمترین	
		رسوب	خاک	رسوب	خاک	رسوب	خاک
^{226}Ra	بالادست	$31,87 \pm 0,67$	$33,00 \pm 0,68$	$37,86 \pm 0,68$	$28,88 \pm 0,67$	$29,37 \pm 0,74$	
	پایین‌دست	$35,25 \pm 0,81$	$36,27 \pm 0,77$	$36,89 \pm 0,81$	$33,46 \pm 0,57$	$33,25 \pm 0,79$	
	تالاب	$20,88 \pm 0,98$	-	$33,63 \pm 1,87$	-	$8,18 \pm 1,90$	
^{232}Th	بالادست	$30,71 \pm 1,22$	$36,29 \pm 1,22$	$43,61 \pm 1,12$	$31,95 \pm 1,24$	$22,75 \pm 1,05$	
	پایین‌دست	$35,48 \pm 1,36$	$41,70 \pm 1,32$	$44,79 \pm 1,54$	$38,27 \pm 1,08$	$27,20 \pm 1,20$	
	تالاب	$21,22 \pm 1,23$	-	$25,72 \pm 1,73$	-	$11,61 \pm 1,13$	
^{40}K	بالادست	$257,34 \pm 4,67$	$469,13 \pm 5,02$	$567,73 \pm 7,95$	$338,03 \pm 7,31$	$132,43 \pm 4,18$	
	پایین‌دست	$481,18 \pm 5,62$	$569,03 \pm 5,55$	$624,68 \pm 4,99$	$508,07 \pm 4,57$	$160,42 \pm 3,85$	
	تالاب	$287,90 \pm 4,79$	-	$415,23 \pm 9,14$	-	$33,99 \pm 0,34$	
^{137}Cs	بالادست	$2,58 \pm 1,18$	$7,66 \pm 0,26$	$10,82 \pm 0,27$	$2,62 \pm 0,24$	$0,69 \pm 0,05$	
	پایین‌دست	$2,44 \pm 0,19$	$5,59 \pm 0,25$	$7,87 \pm 0,29$	$3,75 \pm 0,23$	$0,90 \pm 0,18$	
	تالاب	$2,75 \pm 0,19$	-	$8,66 \pm 0,39$	-	$0,22 \pm 0,01$	

شکل ۴. نمودار فعالیت ویژه ^{226}Ra (الف)، ^{232}Th (ب)، ^{40}K (ج) و ^{137}Cs (د) در نمونه‌های بالادستی رود گلوگاه.



شکل ۵. نمودار فعالیت ویژه (الف) ^{226}Ra ، (ب) ^{232}Th ، (ج) ^{40}K و (د) ^{137}Cs در نمونه‌های پایین‌دستی رود گلوگاه.



شکل ۶. نمودار فعالیت ویژه (الف) ^{226}Ra ، (ب) ^{232}Th ، (ج) ^{40}K و (د) ^{137}Cs در نمونه‌های رسوبی تالاب.

که توسط جریان آب رود گلوگاه از این رودخانه وارد تالاب میانکاله شده‌اند، نقشه هم‌ترازی توزیع ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs در شکل‌های ۸ (الف) تا ۸ (د) توسط نرم‌افزار GIS رسم شده است.

با توجه به شکل ۸ (الف)، نقشه توزیع ^{226}Ra بیانگر رسوب‌گذاری سریع این هسته پرتوزا بلافاصله پس از ورود

انتقال آن‌ها به مناطق پایین‌دستی توسط جریان آب رودخانه نسبت داد. دقیقاً مشابه چنین نتایجی برای رسوبات و خاک کنار رودخانه در مناطق بالادستی رودخانه قره‌سو به دست آمد، در آن مطالعه نیز غلظت هسته‌های مختلف در خاک کناری رودخانه همواره بالاتر از رسوبات بستر آن بود [۱۵]. به منظور درک نحوه توزیع و انتشار هسته‌های پرتوزای مختلف

به تالاب است. این نتیجه دقیقاً مشابه نتیجه به دست آمده برای الگوی انتشار ^{226}Ra در دهانه رود گز در همین تالاب است. الگوی توزیع ^{226}Ra در ناحیه دهانه خروجی رود گز به تالاب میانکاله نیز مانند رود گلوگاه رسوب گذاری سریع این هسته پرتوزا را بلافاصله پس از خروج از دهانه رودخانه نشان می دهد [۲۵].

بافت رسوبی در قسمت جنوبی این تالاب در نزدیکی دهانه خروجی رود گلوگاه ماسه ای-گلی است. این موضوع نشان می دهد که این نوع رسوب میل زیادی در به دام اندازی رادیوم دارد. بنابراین، نمک های رادیومی که توسط جریان آب رودخانه به این منطقه وارد شده اند، به راحتی رسوب کرده و توسط بافت رسوبی دهانه خروجی رود گلوگاه جذب می شوند. با توجه به شکل های ۸ (ب) و ۸ (ج)، الگوهای توزیع ^{232}Th و ^{40}K تقریباً مشابه یکدیگر است. برای هر دو هسته پرتوزای مذکور در ابتدا در قسمت غربی دهانه خروجی رودخانه نسبت به قسمت شرقی آن، غلظت آن ها کمتر است و سپس با افزایش فاصله از دهانه خروجی، بر غلظت آن ها افزوده می گردد. علت این الگوی توزیع می تواند تاثیرپذیری مشابه نحوه انتشار ^{232}Th و ^{40}K از جریان های آبی تالاب میانکاله و همچنین نحوه مشابه جذب نمک های توریم و پتاسیم توسط رسوبات آن ناحیه باشد. اما برای توزیع ^{137}Cs ، شکل ۸ (د)، نشان دهنده رسوب گذاری این عنصر در مناطق دورتر از دهانه خروجی رود گلوگاه است. غلظت این هسته پرتوزا ابتدا در کمترین حالت است و سپس با دور شدن از دهانه خروجی رودخانه، غلظت آن افزایش می یابد. این پدیده را می توان به حرکت پذیری بالای سزیم نسبت داد، به گونه ای که سزیم ورودی از رود گلوگاه توسط آب ورودی به تالاب میانکاله به دلیل حرکت پذیری بالا به مناطق میانی تالاب که از لحاظ جریان های آبی آرام است منتقل شده و سپس در آن جا رسوب می کند. این الگو مشابه الگوی به دست آمده برای ^{137}Cs در مصب رود گز و قره سو در تالاب میانکاله و همچنین تالاب میقان در استان مرکزی ایران است [۲۶، ۱۷، ۱۵]. در آن مناطق نیز ^{137}Cs ورودی به تالاب، ابتدا مسافتی را طی کرده و سپس در نقاط دوردست که از لحاظ جریان های

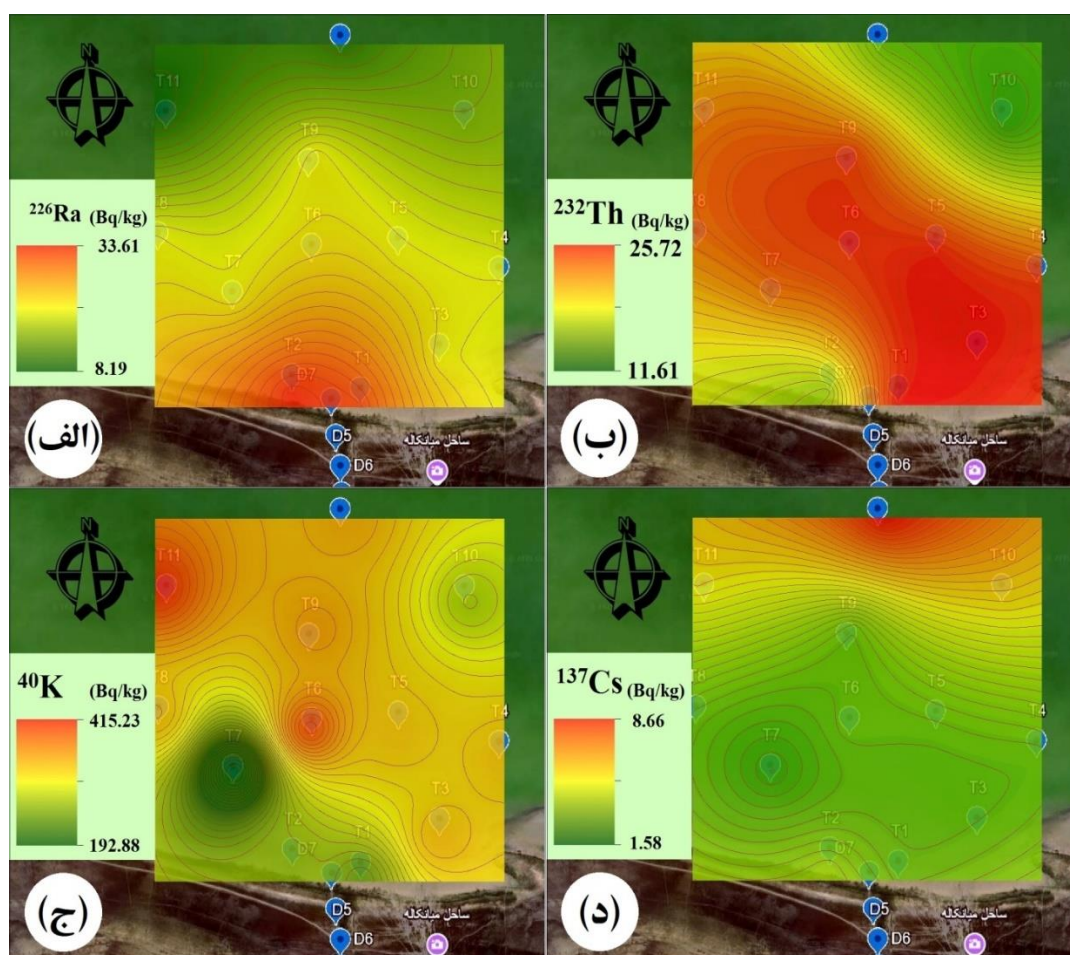
آبی آرام تر است ته نشین می شود. بافت رسوبی ناحیه میانی تالاب میانکاله از نوع گلی است که حاکی از آرام بودن آن ناحیه است. همچنین این نتایج ظرفیت رسوب پذیری بالای سزیم را در این نوع بافت رسوبی نشان می دهد. مشابه این نتیجه نیز در مطالعه رسوبات دریاچه بانگدوکدام^۱ در کره جنوبی به دست آمده است. در آن مطالعه نیز بالاترین غلظت ^{137}Cs مربوط به رسوبات از نوع گلی در میانه دریاچه به دست آمد [۲۷]. به منظور مقایسه نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج مطالعات دیگر در نقاط مختلف ایران و جهان، خلاصه ای از نتایج پژوهش های مشابه در جدول ۳ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۳، برای ویژه هسته ^{226}Ra ، میانگین فعالیت ویژه این هسته پرتوزا در نمونه های رسوبی رود گلوگاه بالاتر از رود های قره سو و گز در حوضه آبریز تالاب میانکاله و همچنین بالاتر از رود نیل مصر و رود انگو کشور در نیجریه است. همچنین در رسوبات تالاب میانکاله در قسمت نزدیک به دهانه خروجی رود گلوگاه، میانگین غلظت ^{226}Ra از نمونه های نزدیک به دهانه خروجی رود های گز و قره سو و نمونه های مربوط به دریاچه ناصر مصر، خلیج بنگال، دریای اژه و دریای مدیترانه در نزدیکی ساحل سیسیل ایتالیا بیشتر ولی از نمونه های مربوط به تالاب میقان، خلیج فارس و دریای خزر کمتر است.

میانگین فعالیت ^{232}Th در رسوبات رود گلوگاه بالاتر از رود قره سو و رود نیل، ولی کمتر از رود گز و رود انگو است. همچنین میانگین فعالیت این هسته پرتوزا در رسوبات تالاب میانکاله از سایر نقاط دیگر به غیر از رسوبات دریاچه ناصر کمتر است. میانگین فعالیت ویژه ^{40}K در رسوبات رود گلوگاه کمتر از رود گز، بیشتر از رود انگو و رود نیل و تقریباً برابر با رود قره سو است. ولی میانگین فعالیت این هسته پرتوزا در رسوبات قسمت مورد مطالعه در تالاب میانکاله کمتر از سایر نقاط دیگر به غیر از رسوبات دریاچه ناصر است. در مورد ^{137}Cs نیز میانگین فعالیت این هسته پرتوزای مصنوعی در رسوبات رود گلوگاه بیشتر از رود گز و تقریباً در محدوده



شکل ۷. نمودار مقایسه‌ای غلظت فعالیت ویژه عناصر پرتوزا در نمونه‌های خاک و نمونه‌های رسوبی مربوط به کل رودخانه گلوگاه.



شکل ۸. نقشه توزیع و خطوط هم‌ترازی ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs در مصب رود گلوگاه در تالاب میانکاله.

از دریاچه بانگودام کره جنوبی و از سایر نقاط دیگر کمتر است.

اندازه‌گیری شده برای رود قره سو است. اما میانگین فعالیت ^{137}Cs در رسوبات منطقه مورد مطالعه در تالاب میانکاله بالاتر

جدول ۳. مقایسه فعالیت ویژه عناصر پرتوزا در رسوبات مورد مطالعه در این پژوهش با برخی از مطالعات دیگر.

منطقه مورد مطالعه	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	مرجع
رسوبات رود نیل، مصر	۱۶,۳۰	۱۲,۹۴	۲۰۰,۲۱		[۲۸]
رسوبات رود انگو، نیجریه	۲۳,۴۷	۷۷,۲۵	۶۸,۴۸		[۲۹]
رسوبات رود قره سو (ایران)	۱۴,۳۰	۲۶,۰۹	۳۴۴,۳۷	۲,۸۰	[۱۵]
رسوبات رود گز (ایران)	۱۸,۹۳	۴۱,۹۵	۴۷۲,۹۱	۱,۷۰	[۱۷]
رسوبات رود گلوگاه (ایران)	۳۳,۱۲	۳۲,۴۷	۳۳۹,۸۱	۲,۵۳	این پژوهش
دریای اژه، یونان	۱۵	۲۵	۵۶۵	۱,۳	[۳۰]
دریاچه بانگوکدام، کره جنوبی				۱,۷۷	[۲۷]
خلیج بنگال	۲۲,۹۴	۱۶۸,۸۵	۲۹۹,۱۴		[۳۱]
دریای مدیترانه، سیسیل ایتالیا	۱۹,۷۶	۳۷,۹۶	۴۷۱,۷		[۳۲]
دریاچه ناصر، مصر	۱۴,۴۷	۱۷,۸۳	۹۵,۳۴		[۳۳]
خلیج فارس، ایران	۳۵	۲۶	۳۹۵	۹	[۳۴]
دریای خزر، ایران	۶۱	۴۹	۵۳۷	۲۵	[۳۵]
تالاب میقان، ایران	۲۲,۸۶	۲۷,۲۶	۴۰۹,۰۴	۶,۳۴	[۲۶]
تالاب میانکاله مصب رود قره سو، ایران	۱۵,۳۸	۲۹,۲۸	۴۵۷,۹۷	۵,۵۵	[۱۵]
تالاب میانکاله مصب رود گز، ایران	۱۶,۳۰	۲۹,۸۸	۳۲۴,۳۹	۶,۳۲	[۱۷]
تالاب میانکاله مصب رود گلوگاه، ایران	۲۰,۸۸	۲۱,۲۲	۲۸۷,۹۰	۲,۷۵	این پژوهش
میانگین جهانی	۳۵	۴۰	۴۰۰	-	[۱]

شده است. نتایج به دست آمده برای غلظت ^{137}Cs در منطقه مورد مطالعه حاکی از آلودگی این منطقه به این هسته پرتوزای مصنوعی است که توسط جریانات آب و هوایی به آنجا منتقل شده است. به علاوه، نتایج فعالیت این هسته پرتوزا در نمونه های منطقه مورد مطالعه تفاوت معناداری را با مناطق نزدیک به آن یعنی رود گز در جنوب شرقی و رود قره سو در قسمت شرقی تالاب میانکاله نشان نمی دهد. مقایسه غلظت هسته های پرتوزا در نمونه های رسوبی بستر و نمونه های خاک کنار رودخانه نشان دهنده شست و شوی رسوبات توسط جریان آب رودخانه است که سبب کاهش فعالیت ویژه این هسته های پرتوزا در رسوبات می شود. نمک های رادیم، توریم، پتاسیم و سزیم توسط جریان آب رودخانه حمل و به نقاط پایین دست و در نهایت به تالاب میانکاله منتقل می شوند. الگوی توزیع ^{226}Ra در ناحیه دهانه خروجی رود گز به تالاب

۴. جمع بندی

با توجه به نتایج، میانگین غلظت پرتوزایی ^{226}Ra و ^{232}Th در نمونه های بالادست و پایین دست رود گلوگاه تفاوت چشم گیری با میانگین جهانی ندارند. همچنین نتایج نشان می دهد که میانگین غلظت ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K در رسوبات تالاب میانکاله در نزدیکی دهانه رود گلوگاه کمتر از مقدار میانگین جهانی است. اما در ناحیه پایین دست رود گلوگاه و نزدیک به دهانه خروجی آن، عواملی مانند استفاده از کودهای پتاسیمی برای مصارف کشاورزی و همچنین شست و شوی رسوبات و حمل نمک های حاوی پتاسیم از قسمت بالادست رود گلوگاه توسط جریان آب رودخانه و انتقال آن به مناطق پایین دست سبب بالارفتن غلظت ^{40}K در نمونه های این ناحیه

توزیع ^{137}Cs نشان می دهد که با توجه به حرکت پذیری بالای سزیم، این هسته پرتوزا توسط جریان آب به مناطق میانی تالاب که از لحاظ جریانات آبی آرام و از لحاظ بافت رسوبی-گلی است منتقل شده و در آنجا رسوب گذاری می کند.

میانکاله رسوب گذاری سریع این هسته پرتوزا را بلافاصله پس از خروج از دهانه رودخانه نشان می دهد که در رسوبات با بافت ماسه ای-گلی ته نشین می شود. شباهت الگوی انتشار ^{232}Th و ^{40}K بیانگر آن است که این دو عنصر تحت تأثیر سازوکارهای مشابه انتقال در جریان های آبی تالاب و نیز فرآیندهای مشابه جذب توسط رسوبات قرار دارند. نقشه

مراجع

1. UNSCEAR, (2008), Sources, effects and risks of ionizing radiation, New York: Report to the General Assembly with annexes.
2. S M MortazaviShahroudi, H Tavakoli, R Pourimani and M Goudarzi, *Eur. Phys. J. Plus.* **140** (2025) 222.
3. R Pourimani, and S M MortazaviShahroudi, *J. Environ. Sci. Technol.* **21(3)** (2019) 59.
4. G Suresh, V Ramasamy, V Meenakshisundaram, R Venkatachalapathy and V Ponnusamy, *J. Environ. Radioact.* **102** (2011) 370.
5. S M MortazaviShahroudi and R Pourimani, *J. Environ. Radioact.* **262** (2023) 107147.
6. K M Miller, J L Kuiper and I K Helfer, *J. Environ. Radioact.* **12(1)** (1990) 23.
7. S U El-Kameesy, S AbdEl-Ghany, S M El-Minyawi, Z Miligy and E M El-Mabrouk, *Turk. J. Eng. Environ. Sci.* **32** (2008) 245.
8. B Salbu, Release of Radioactive Particles to the Environment. *Radiat. Res.* **202(2)** (2024) 260.
9. M J Frissel and R Pennders, *Blackwell, Oxford* (1983) 63.
10. Q He and D E Walling, *Appl. Radiat. Isot.* **48** (1997) 667.
11. J C Ritchie and J R Mchenry, *J. Environ. Qual.* **19** (1990) 215.
12. W Davidson, P Spezanno and J Hilton, *J. Environ. Radioact.* **19** (1993) 109.
13. UNSCEAR, (1993), Sources and effects of ionizing radiation, New York: Report to the General Assembly with annexes.
14. M Fallah, S Jahangiri, H Jannadeleh and M A Kameli, *Microchem. J.* **146** (2019) 1090.
15. R Pourimani and S M MortazaviShahroudi, *Iran. J. Phys. Res.* **22(1)** (2022) 149.
16. R Pourimani, S M MortazaviShahroudi and R Ghorbani, *Iran. J. Phys. Res.* **22(4)** (2023) 933.
17. R Pourimani and S M MortazaviShahroudi, *Iran J. Sci.* **47** (2023) 589.
18. GIS10.3- Geographic Information System, version 10.3, (2014).
19. L Parsaie and A M MofidiKhajeh, Paper presented at the Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran, (2009). (In Persian)
20. R Pourimani and S M MortazaviShahroodi, *Iran. J. Med. Phys.* **15(2)** (2018) 126.
21. J D S Paiva, E E Farias and E J D Franca, international nuclear atlantic conference. Brazilian nuclear program. State policy for a sustainable world; 12. ENAN: meeting on nuclear applications (INAC 2015), Sao Paulo, SP (Brazil), 4-9 Oct 2015.
22. A Shahrokhi and T Kovacs, *Environ. Sci. Eur.* **33** (2021) 66.
23. R Pourimani and F Anoosheh, *Iran. J. Med. Phys.* **12(3)** (2015) 189.
24. R Pourimani and S M MortazaviShahroodi, Third National Conference on Biotechnology Innovation and Technology, Iranian Chemistry, (2021), Tehran.
25. R Pourimani and S M Mortazavi Shahroodi, *J. Sea Res.* **204** (2025) 102564.
26. R Pourimani, R Fardad and M Mirzaei, *J. Environ. Sci. Technol.*, **23** (2021) 47.
27. J S Chae, T H Kim, M Y Lee, C B Song and S H Koh, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **319** (2019) 783.
28. A El-Taher, L A Najam, I Hussian and M A A Omer MAA, *Iran. J. Med. Phys.* **16** (2019) 27.
29. J N Ekuma, F I Chinwe and C B George, *Ayden Int. J. Basic Appl. Sci.* **13(2)** (2025) 1.
30. A Shahrokhi, M Adelikhah, S Chalupnik and T Kovacs, *Mar. Pollut. Bull.* **163** (2021) 112009.
31. K Pandion, K D Arunachalam, A R Z Gaafar, M M Almunqedhi, S Kuppasamy, R P Singh, M Chandrasekaran, M J H Dowlath, S W Chang and R Balasubramani, *J. Hydroinf.* **27(1)** (2025) 17.
32. F Caridi, A F Mottese, G Paladini, L Pistorino, F Gregorio, S Lanza, G Randazzo, S Marguccio, A Belvedere, M D'Agostino, D Majolino and V Venuti, *J. Mar. Sci. Eng.*, **13** (2025) 769.
33. E S El-Shlemy, A Gad, M G El Feky, A M A Mahmoud, O El-Sayed and N S Abed, *Toxics* **13(9)** (2025) 745.
34. M R Abdi, M Kamali and S Vaezifar, *Mar. Pollut. Bull.* **56(4)** (2008) 751.

-
35. M R Abdi, S Hassanzadeh, M Kamali and H R Raji, *Mar. Pollut. Bull.* **58(5)** (2009) 658.