



## الگوی توزیع دز جذبی و ارزیابی خطر مربوط به پرتوشناختی در رسوبات تالاب بین‌المللی میانکاله، شمال ایران

سید محسن مرتضوی شاهرودی، رضا پورایمانی\*، و روشنگر قربانی

دانشگاه اراک، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، اراک

پست الکترونیکی: r-pourimani@araku.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۱۰/۰۷)

### چکیده

در این پژوهش، فعالیت ویژه عناصر پرتوزای طبیعی و مصنوعی برای ۵۰ نمونه رسوبی جمع‌آوری شده از سرتاسر تالاب میانکاله در شمال ایران در ضلع جنوب شرقی دریای خزر با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی اندازه‌گیری شد. همچنین کمیت‌های پرتوشناختی و شاخص‌های خطر ناشی از تابش‌های گامای محیطی ناشی از این ویژه‌هسته‌ها محاسبه و نقشه توزیع فعالیت معادل رادیوم و دز جذبی برای سرتاسر تالاب میانکاله با استفاده از نرم‌افزار GIS ترسیم شد. میانگین فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  به ترتیب  $1.65 \pm 0.06$ ،  $1.46 \pm 0.19$ ،  $1.17 \pm 0.37$  و  $0.27 \pm 0.81$  بکرل بر کیلوگرم به دست آمد که برای ویژه‌هسته‌های پرتوزای طبیعی کمتر از مقدار میانگین جهانی است. بالاترین غلظت برای  $^{226}\text{Ra}$  مربوط به رسوبات مصب رود گلوگاه است. نتایج نشان‌دهنده رسوب‌گذاری سریع  $^{232}\text{Th}$  بلافاصله پس از ورود به تالاب است. بیشترین غلظت  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  به ترتیب در ناحیه دهانه رود گز و بخش آرام در ناحیه مرکزی تالاب مشاهده شد. میانگین فعالیت معادل رادیوم و دز جذبی به ترتیب  $4.37 \pm 0.42$  و  $1.94 \pm 0.32$  بکرل بر کیلوگرم و  $32.73 \pm 1.94$  نانوگری بر ساعت محاسبه شد که کمتر از مقدار میانگین جهانی است. نقشه توزیع فعالیت معادل رادیوم و دز جذبی میزان بالای این دو کمیت در رسوبات نواحی جنوبی و شرقی تالاب را نشان می‌دهد که دلیل آن ورود ویژه‌هسته‌های پرتوزا توسط جریان آب رودهای حوزه این تالاب است. به طور کلی میزان پرتوزایی کلی بر حسب معادل رادیوم در تالاب در نزدیکی دهانه رودخانه‌های با آبدهی بالاتر بیشتر است. مقدار میانگین برای کمیت‌های  $\text{AGDE}$ ،  $\text{ELCR}$ ،  $\text{AEDE}_{\text{out}}$ ،  $\text{Iy}$  و  $\text{Hex}$  در تالاب میانکاله کمتر از مقدار مجاز آن است و به طور کلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میزان پرتوزایی ناشی از ویژه‌هسته‌های پرتوزای موجود در تالاب میانکاله، خطرات پرتوشناختی را برای سلامتی ساکنین این منطقه ایجاد نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: تالاب بین‌المللی میانکاله، تابش محیطی، الگوی توزیع دز جذبی، نقشه پرتوشناختی

### ۱. مقدمه

توسط اکثر مردم ناشی از هسته‌های پرتوزا با منشأ طبیعی است [۲]. قرار گرفتن در معرض پرتوهای یونیزان می‌تواند باعث سرطان یا اختلالات ژنتیکی شود. پرتوهای گسیل شده از هسته پرتوزا طی واپاشی ممکن است انرژی کافی برای یونیزه کردن یک اتم پایدار و تولید رادیکال‌های آزاد در طول فرایندهای

آگاهی از میزان و نحوه توزیع عناصر پرتوزا و میزان تابش‌های هسته‌ای موجود در محیط برای ارزیابی تأثیرات آن بر سلامت انسان بسیار مهم است [۱]. حدود ۸۰٪ از کل دزهای دریافتی

آلاینده‌ها می‌توانند توسط جریان آب به تالاب‌ها و نقاط پایین-دست منتقل شده و در آنجا رسوب کنند [۱۲]. رسوب نقش یک مرکز مهاجرت برای انتقال عناصر پرتوزا به سیستم‌های بیولوژیکی را بازی می‌کند که یک شاخص اساسی آلودگی پرتوشناختی در محیط است [۱۳]. مطالعات متعددی برای اندازه‌گیری میزان غلظت ویژه‌هسته‌های طبیعی و مصنوعی در خاک، ماسه و رسوب در سراسر جهان انجام شده که نتایج برخی از آنها با نتایج این مطالعه در بخش نتایج و بحث مقایسه شده است.

این مطالعه با هدف تعیین نقشه توزیع میزان کمیت‌های پرتوشناختی و همچنین ارزیابی خطر مواجهه جمعیت انسانی با تابش محیطی بر اساس تعیین فعالیت ویژه عناصر پرتوزا در رسوبات تالاب میانکاله با طیف سنجی پرتو گاما با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیمی ( $HPGe^2$ ) انجام شد. نقشه‌های توزیع فعالیت معادل رادیوم ( $Ra_{eq}^3$ ) و میزان دز جذبی ( $D^4$ ) با استفاده از نرم‌افزار  $GIS^{5}$  رسم شدند [۱۴]. دز مؤثر سالانه معادل ( $AEDE^6$ )، خطر ابتلا به سرطان در طول عمر ( $ELCR^7$ )، دز معادل سالانه دریافتی توسط غدد ( $AGDE^8$ )، شاخص خطرپذیری خارجی ( $H_{ex}^9$ ) و شاخص گاما ( $I\gamma^{10}$ ) نیز محاسبه و مورد بررسی قرار گرفتند.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. منطقه مورد مطالعه

تالاب میانکاله در کرانه جنوب شرقی دریای خزر و در منطقه معتدل و مرطوب قرار دارد و مساحتی بالغ بر ۱۷۵۶ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. این تالاب دارای امتداد شرقی-غربی با ۶۰ کیلومتر طول و حداکثر ۱۲ کیلومتر عرض است. منطقه مورد

خاص، از جمله تجزیه رادیویی مولکول‌های آب در سلول‌های بدن را داشته باشد [۳]. این رادیکال‌ها در سلول منجر به تولید هیدروژن پراکسید ( $H_2O_2$ ) می‌شود که به می‌تواند رشته‌های DNA را از بین ببرد و اطلاعات سلولی را تغییر دهد. این تغییرات ممکن است باعث مرگ سلول یا تبدیل شدن به سلول‌های سرطانی شود یا در سلول‌های جنسی می‌تواند باعث اختلالات ژنتیکی در نسل بعدی شود [۴ و ۵]. سری اورانیوم و توریم و دختران پرتوزای آنها و همچنین  $^{40}K$  رایج‌ترین هسته‌های پرتوزای طبیعی در پوسته زمین هستند. پرتوزایی طبیعی عمدتاً به ویژگی‌های زمین‌شناسی و جغرافیایی منطقه بستگی دارد و به مقدار متفاوت در خاک هر منطقه از جهان وجود دارد [۱]. هسته‌های پرتوزای طبیعی ( $NORMs^1$ ) در محیط ناشی از ریزش‌های جوی و عمدتاً از فرسایش سنگ‌های حاوی هسته‌های پرتوزا به دست می‌آیند. علاوه بر عناصر پرتوزای طبیعی، عناصر پرتوزای مصنوعی تولید شده توسط فرایندهای انسانی، میزان تابش‌های محیط را افزایش می‌دهند [۶]. ویژه هسته پرتوزای  $^{137}Cs$  به عنوان یکی از محصولات شکافتی که وارد محیط زیست شده است، به دلیل فرار بودن و دارا بودن نیمه-عمر طولانی، از اهمیت بالایی برخوردار است [۷]. این ویژه-هسته از طریق آزمایش‌های تسلیحات هسته‌ای و همچنین حوادث هسته‌ای مانند حوادث چرنوبیل و فوکوشیما دایچی در طبیعت رها شدند. ویژه هسته  $^{137}Cs$  می‌تواند به طور مستقیم به اقیانوس، خاک و آب زیرزمینی راه یابد و همچنین می‌تواند به عنوان بخشی از گرد و غبار حاوی عناصر پرتوزا در محیط منتشر شود و از طریق ریزش جوی به محیط آبی منتقل شود [۸]. سپس این ویژه هسته به سرعت توسط ذرات گل 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 [۹ و ۱۰]. همچنین سایر فعالیت‌های انسانی مانند استخراج مواد معدنی، تولید و استفاده از کودهای فسفاته، سوزاندن زغال سنگ، تولید سیمان، تصفیه زباله‌های شهری و غیره باعث افزایش سطح تابش در محیط می‌شود [۱۱]. برخی از این

۲. High Purity Germanium Detector

۳. Radium Equivalent activity

۴. Dose

۵. Geographic Information System

۶. Annual Effective Dose Equivalent

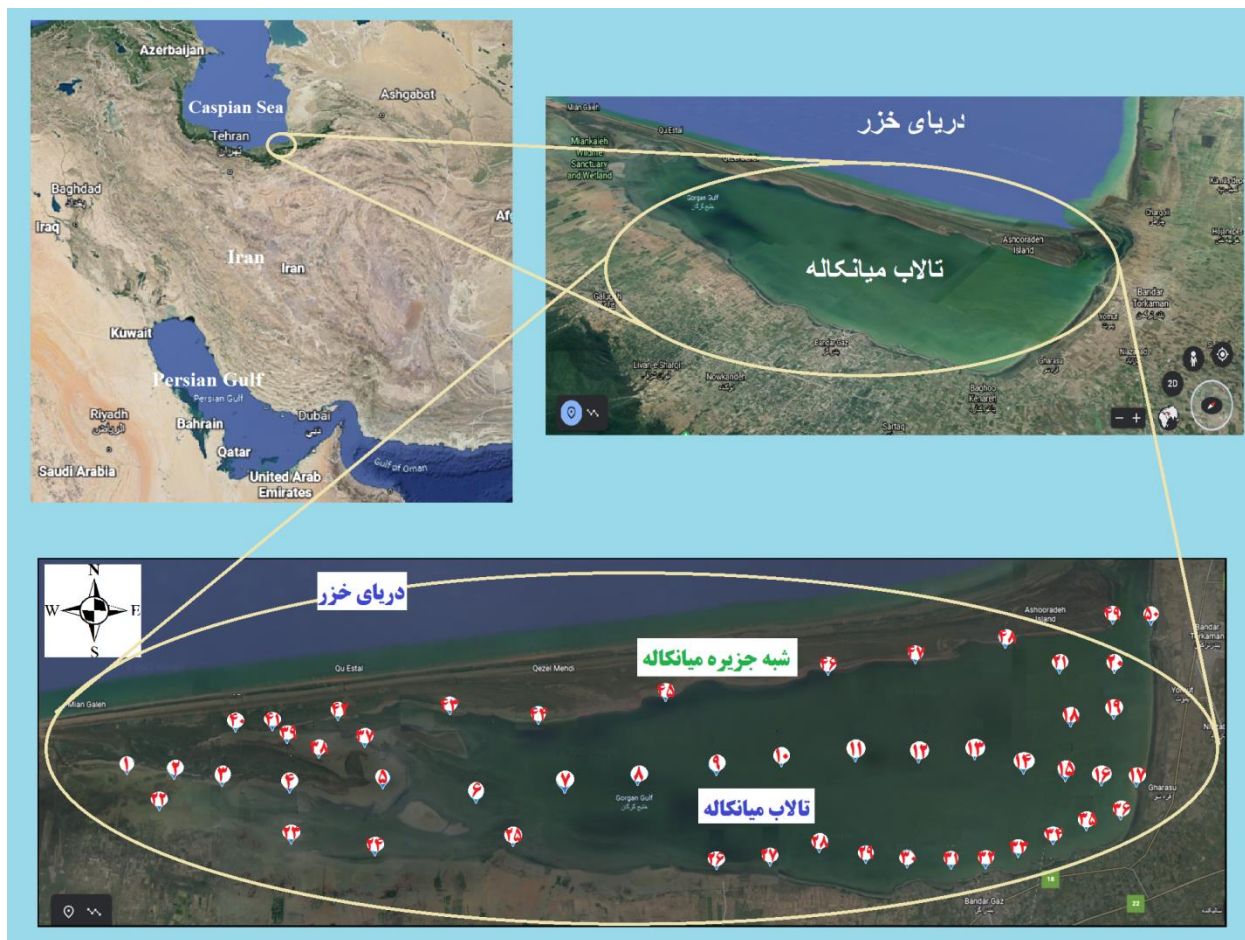
۷. Excess Life Cancer Risk

۸. Annual Gonadal Dose Equivalent

۹. External Hazard Index

۱۰. Gamma index

۱. Naturally-Occurring Radioactive Materials



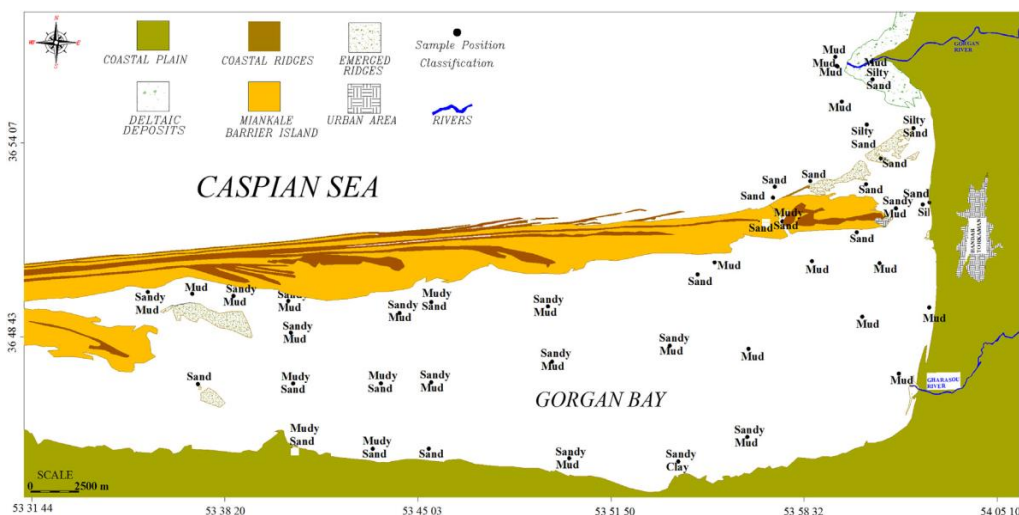
شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری در تالاب میانکاله، شمال ایران.



شکل ۲. خطوط هم‌سرعت جریان آب در تالاب میانکاله [۱۵].

بین ۰/۱ تا ۰/۸ مترمکعب بر ثانیه اند. مقادیر ارتفاع خیزاب توفان دریایی در تالاب میانکاله با سرعت باد ۸ متر بر ثانیه بسیار اندک برآورد شده است. خطوط هم‌سرعت برای جریان آب در

مطالعه و نقاط نمونه برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. جهت جریان آب در تالاب میانکاله به شکل ساعت‌گرد است. مقادیر سرعت جریان آب در این تالاب به طور متوسط



شکل ۳. وضعیت بافت رسوبی تالاب میانکاله [۱۶].

رسوبات باشد. رودخانه‌های آبریز این تالاب بسیاری از این رسوبات را به داخل تالاب هدایت می‌کنند. شکل ۳ وضعیت بافت رسوبی در تالاب میانکاله را نشان می‌دهد [۱۶].

به طور کلی رودخانه‌های حوزه تالاب میانکاله رژیم بارانی و برفی دارند. بیشتر آب آنها از بارندگی تأمین می‌شود و ذوب برف سهم کمتری دارد. رودخانه‌هایی که حوضه‌های آنها بزرگ نیست و ارتفاع آنها کم است رژیم بارانی دارند [۱۷]. از مهم‌ترین رودخانه‌های حوزه این تالاب می‌توان به رودخانه قره‌سو در شرق و رودخانه گز در جنوب شرقی و رودخانه گلوگاه در جنوب تالاب اشاره کرد. رودخانه قره‌سو منبع اصلی آب شیرین تالاب میانکاله است. متوسط آب‌دهی سالانه رودخانه قره‌سو ۵۳ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است [۱۸]. این رودخانه در روستای قره‌سو به تالاب میانکاله می‌پیوندد و در ضلع شرقی تالاب دلتای کوچکی را تشکیل می‌دهد. ذرات معلق در آب ورودی از این رودخانه یکی از عوامل کاهش عمق این تالاب است. عمده فعالیت مردم اطراف تالاب میانکاله کشاورزی، دامداری و ماهیگیری است که می‌تواند سلامت آب این محیط را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین پساب‌های صنعتی منطقه حاوی مواد جامد محلول و معلق است که با ورود به آب‌های سطحی وارد این تالاب شده و باعث ایجاد آلودگی در این تالاب می‌شوند [۱۹].

این تالاب در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۵].

بافت غالب رسوبات تالاب میانکاله از شرق به غرب ابتدا گلی و سپس گل-ماسه‌ای است. این رسوبات ۲۹ درصد سیلت، ۴۰/۸۵ درصد رس و حدود ۳۰ درصد ماسه‌ای هستند. وجود بیش از ۴۰ درصد رس در بافت این رسوبات، نشان از آرامش محیط تالاب میانکاله در حین رسوب‌گذاری، بسته بودن محیط و عدم شستشوی اساسی رسوبات در شرایط پرنرژژی نظیر وقوع طوفان‌های فصلی و همچنین وجود برخاستگاه‌های رسوبات ریز دانه در مناطق بالادست دارد. بافت گل-ماسه‌ای در نیمه تالاب تا سواحل شمالی که در پناه برخورد امواج هستند، فراوانی بیشتری دارد، لیکن به طرف نیمه جنوبی و به طرف سواحل جنوب غرب آن به واسطه برخورد امواج داخل تالاب و تلاطم بیشتر در شرایط طوفانی، بافت رسوبات ماسه-گلی شده و ذرات سیلنتی و رسی تا اندازه‌ای شسته شده‌اند. به طور کلی در قسمت جنوبی تالاب به دلیل برخورد امواج و تلاطم بیشتر در شرایط طوفانی، بافت رسوبات ماسه-گلی است و ذرات سیلت و رس تا حدی شسته می‌شود. اما در وسط تالاب و به سمت ساحل شمالی که شرایط آرام‌تری دارد، بافت رسوبات بیشتر گل-ماسه‌ای است. دانه‌های بستر تالاب میانکاله نشان‌دهنده عدم بلوغ بافتی و ظرفیت بالای رسوب‌گیری آنها است. بالا بودن این ظرفیت باعث شده است که علاوه بر عدم دفع رسوبات ریزدانه، دائماً پذیرای مقادیر قابل توجهی از این نوع

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

کد نمونه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	کد نمونه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
S1	۵۳,۴۳۰۰۰	۳۶,۸۳۵۸۳	S26	۵۳,۷۸۴۷۶	۳۶,۷۸۸۱۵
S2	۵۳,۴۸۰۱۷	۳۶,۸۳۴۵۳	S27	۵۳,۸۱۳۲۶	۳۶,۷۸۹۷۹
S3	۵۳,۵۱۸۲۸	۳۶,۸۳۱۶۷	S28	۵۳,۸۶۳۶۱	۳۶,۷۹۶۶۷
S4	۵۳,۵۵۵۹۲	۳۶,۸۳۱۶۷	S29	۵۳,۸۹۴۱۷	۳۶,۷۹۵۵۶
S5	۵۳,۵۹۶۴۴	۳۶,۸۳۱۶۷	S30	۵۳,۹۰۸۸۸	۳۶,۷۹۴۵۸
S6	۵۳,۶۴۸۰۲	۳۶,۸۲۵۶۷	S31	۵۳,۹۲۷۲۵	۳۶,۷۹۳۳۴
S7	۵۳,۷۰۸۷۲	۳۶,۸۲۳۰۲	S32	۵۳,۹۴۵۹۶	۳۶,۷۹۰۵۹
S8	۵۳,۷۶۶۱۱	۳۶,۸۱۹۷۲	S33	۵۳,۹۶۳۱۴	۳۶,۷۹۸۰۱
S9	۵۳,۷۹۶۶۷	۳۶,۸۱۹۷۲	S34	۵۳,۹۷۸۳۳	۳۶,۸۰۱۶۷
S10	۵۳,۸۲۶۶۷	۳۶,۸۲۶۹۴	S35	۵۴,۰۱۱۶۷	۳۶,۸۱۴۱۷
S11	۵۳,۸۷۳۰۶	۳۶,۸۳۷۲۲	S36	۵۴,۰۳۰۴۲	۳۶,۸۱۵۹۶
S12	۵۳,۹۱۷۵۰	۳۶,۸۳۱۹۴	S37	۵۳,۵۸۰۱۶	۳۶,۸۵۰۴۰
S13	۵۳,۹۵۶۹۴	۳۶,۸۲۷۵۰	S38	۵۳,۵۶۳۳۳	۳۶,۸۴۲۷۸
S14	۵۳,۹۹۷۷۸	۳۶,۸۲۶۶۷	S39	۵۳,۵۴۱۲۵	۳۶,۸۴۷۵۰
S15	۵۴,۰۲۰۵۶	۳۶,۸۲۹۴۴	S40	۵۳,۵۱۴۱۷	۳۶,۸۵۳۸۹
S16	۵۴,۰۲۸۸۹	۳۶,۸۳۱۱۱	S41	۵۳,۵۳۱۱۱	۳۶,۸۵۵۰۰
S17	۵۴,۰۳۴۹۶	۳۶,۸۲۸۹۱	S42	۵۳,۵۷۱۳۹	۳۶,۸۵۹۹۲
S18	۵۴,۰۲۰۸۳	۳۶,۸۴۴۴۴	S43	۵۳,۶۴۱۵۶	۳۶,۸۶۴۷۸
S19	۵۴,۰۳۶۶۷	۳۶,۸۶۳۰۶	S44	۵۳,۶۹۴۲۲	۳۶,۸۵۹۰۶
S20	۵۴,۰۳۵۰۰	۳۶,۸۷۶۹۴	S45	۵۳,۷۵۷۱۷	۳۶,۸۷۱۷۵
S21	۵۴,۰۰۷۷۴	۳۶,۸۶۹۱۶	S46	۵۳,۸۲۱۹۴	۳۶,۸۷۷۰۶
S22	۵۳,۴۱۸۲۷	۳۶,۸۰۱۰۴	S47	۵۳,۸۷۷۵۰	۳۶,۸۸۶۸۱
S23	۵۳,۵۴۶۸۶	۳۶,۷۸۹۹۱	S48	۵۳,۹۳۷۰۳	۳۶,۸۹۶۱۱
S24	۵۳,۵۹۸۶۲	۳۶,۷۹۷۴۹	S49	۵۴,۰۲۱۹۴	۳۶,۹۰۰۸۳
S25	۵۳,۶۸۱۳۹	۳۶,۷۹۴۱۹	S50	۵۴,۰۴۱۱۱	۳۶,۸۹۶۶۷

## ۲.۲. نمونه‌برداری و مراحل نمونه‌سازی

۵۰ نقطه برای نمونه‌برداری از نقاط مختلف تالاب میانکاله به صورت تصادفی انتخاب شدند. نمونه‌برداری رسوب در نقاط عمیق این تالاب به روش غواصی انجام شد. قسمت غربی تالاب به دلیل عقب‌نشینی آب کاملاً خشک شده است. نمونه‌های رسوب از عمق ۰ تا ۵ سانتی‌متری بستر تالاب برداشت شد. طبق مطالعات انجام شده سالانه به طور میانگین ۱/۵ میلی-

متر به ضخامت رسوب کف این تالاب افزوده می‌شود [۲۰]. با توجه به این که از آخرین انفجار هسته‌ای تأثیرگذار در سال ۱۹۸۶ در راکتور چرنوبیل در کشور اوکراین ۳۵ سال می‌گذرد لذا رسوبات کف این تالاب تا عمق ۵ سانتی‌متری حاوی اطلاعات فرسایش خاک از منطقه بالادست است. این رسوبات پس از نمونه‌برداری کدگذاری شدند، مختصات جغرافیایی، عمق و کد نمونه‌ها در جدول ۱ ارائه شده و در شکل ۱ نشان

داده شده است.

تمام نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت به منظور ازدست دادن رطوبت احتمالی خشک شدند. برای به‌دست آوردن نمونه‌های همگن، نمونه‌های خشک‌شده به صورت پودر ریز آسیاب و از الک ۰/۵۰۸ میلی‌متری عبور داده شدند [۲۱]. تمام نمونه‌ها در ظروف نگینی با حجم CC ۳۰۰ برای تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی گاما بسته‌بندی شدند. در این مطالعه هر ظرف حاوی ۲۵۵ گرم نمونه رسوب است. رادون یک ویژه‌هسته پرتوزای گازی و فرار با نیمه عمر کوتاه است. برای ممانعت از خروج گاز رادون ظروف نمونه کاملاً آب‌بندی شدند. به منظور رسیدن به تعادل فعالیت بین هسته‌های  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{222}\text{Rn}$  از زنجیره واپاشی  $^{238}\text{U}$ ، بعد از گذشت حداقل ۵۰ روز از هر یک از نمونه‌ها به مدت یک شبانه روز (۸۶۴۰۰ ثانیه) طیف‌گیری به عمل آمد [۲۲]. همچنین، می‌توان فرض کرد که پس از گذشت ۵۰ روز، ویژه‌هسته‌های  $^{228}\text{Ac}$ ،  $^{228}\text{Ra}$  و  $^{228}\text{Th}$  در تعادل با ویژه‌هسته مادرشان یعنی  $^{228}\text{Ac}$  هستند که در این نوع از نمونه‌های خاک رایج است [۲۳ و ۲۴].

### ۲.۳. طیف‌نگاری گاما

طیف نمونه‌ها با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیمی (HPGe) هم‌محور نوع P مدل BSI ۳۰۱۹۵-GCD ساخت شرکت ((Latvia-۰۰۵)) بالتیک سائیتیفیک اینسترومنت ال تی دی<sup>۱</sup> (BSI) با قدرت تفکیک انرژی ۱٫۹۵ کیلو الکترون‌ولت برای خط گامای ۱۳۳۲٫۵۲ کیلو الکترون‌ولت مربوط به  $^{60}\text{Co}$  و ولتاژ کاری ۳۰۰۰ ولت ثبت شد. طیف‌گیری با استفاده از نرم‌افزار IsrmBSI به عمل آمد. تجزیه و تحلیل طیف‌های ثبت شده با استفاده از نرم‌افزار Maestro II Gamma Vision محصول شرکت EG&G Ortec انجام شد. به‌منظور کاهش اثرات تابش زمینه، آشکارساز در مرکز یک حفاظ سربی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر با یک لایه درونی مسی به ضخامت ۲ میلی‌متر قرار داده شد. پرتوهای نرم کیهانی شامل فوتون‌های کم‌انرژی و الکترون‌ها و پرتو ایکس تولیدی توسط سرب

keV ۷۳٫۹ به وسیله این حفاظ به سطح بسیار پایینی کاهش می‌یابد [۲۵]. تصحیح تابش زمینه با استفاده از طیف ثبت شده برای ظرف خالی در شرایط یکسان صورت گرفت [۲۶]. نمونه‌های مرجع ۱-RGU، ۱-RGTh و ۱-RGK که به عنوان ماده مرجع توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی تهیه شده‌اند، در ظرف پلی‌اتیلنی با هندسه مخروط برش خورده با قطر داخلی قاعده، قطر داخلی بالا، ارتفاع و ضخامت به ترتیب ۷۶/۴۶، ۸۵/۸۰، ۶۵/۵۸ و ۱ میلی‌متر محتوی ۲۵۵ گرم از هریک از مواد مرجع برای مدرج کردن انرژی و منحنی بازدهی مورد استفاده قرار گرفتند، مواد مرجع نیز مانند نمونه‌ها بسته‌بندی و آب‌بندی شدند و طیف گامای آنها بعد از گذشت حداقل ۵۰ روز ثبت شد. بازدهی مطلق آشکارساز (E) بر حسب درصد با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد [۲۱].

$$\varepsilon(\%) = N_i / (A_{tc} \times P_n(E_i) \times t) \times 100, \quad (1)$$

در این رابطه  $N_i$  شمارش خالص زیر قله تمام انرژی متناظر با انرژی  $E_i$ ، Act فعالیت 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 طیف‌گیری از نمونه برحسب ثانیه است. با اندازه‌گیری بازدهی آشکارساز برای انرژی‌های گامای مختلف، یک معادله ریاضی درجه بندی انرژی تعیین شد. بر اساس مقدار بازدهی، فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا با استفاده از رابطه (۲) تعیین شد [۲۷].

$$Act = N_i / (\varepsilon(\%) \times P_n(E_i) \times t \times m) \times 100, \quad (2)$$

در این رابطه، Act فعالیت ویژه نمونه بر حسب بکرل بر کیلوگرم،  $m$  جرم نمونه برحسب کیلوگرم، همچنین  $N_i$ ،  $P_n(E_i)$ ،  $E$  و  $t$  همان کمیت‌های ذکر شده در معادله (۱) هستند. برای تعیین ویژه‌فعالیت  $^{226}\text{Ra}$  در نمونه‌ها، از پرتو گامای  $^{214}\text{Pb}$  با انرژی keV ۳۵۱٫۹۳ و پرتو گامای  $^{214}\text{Bi}$  با انرژی keV ۶۰۹٫۳۱ استفاده شده است. همچنین برای تعیین ویژه‌فعالیت  $^{232}\text{Th}$  از دو خط گامای  $^{228}\text{Ac}$ ، یکی با انرژی keV ۹۱۱٫۲۱ با احتمال واپاشی ۲۶٪/۶ و دیگری با انرژی keV ۹۶۸٫۹۷ با احتمال واپاشی ۱۷٪/۴ استفاده شده است. ویژه‌فعالیت‌های  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  با استفاده از خطوط گامای این هسته‌ها به ترتیب با انرژی‌های

۱. Baltic Scientific Instrument LTD

در طول یک سال، ۰/۲ ضریب قرارگیری در معرض پرتو دهی در فضای خارجی محل زندگی و عدد ۰/۷ ضریب تبدیل دز جذبی در هوا به دز مؤثر است.

#### ۲.۴.۴. خطر ابتلا به سرطان در طول عمر (ELCR)

برای محاسبه خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی در اثر تابش-های گامای محیطی از رابطه (۶) استفاده می‌شود [۱].

$$ELCR_{out} = AEDE_{out} (mSv y^{-1}) DL(y) RF(1/Sv), \quad (6)$$

در این رابطه،  $ELCR_{out}$  دز معادل مؤثر سالانه خارجی، DL طول عمر متوسط برابر ۷۰ سال و RF ضریب خطرپذیری برابر ۰/۵ است [۳۰].

#### ۲.۴.۵. شاخص خطرپذیری خارجی ( $H_{ex}$ )

برای تعیین میزان پرتوگیری داخلی و خارجی ناشی از پرتوهای گاما و استنشاق گاز رادن از معیاری به نام شاخص خطرپذیری خارجی ( $H_{ex}$ ) استفاده می‌شود. مقدار این شاخص برای ناچیز بودن مخاطرات و ایمن بودن محیط، باید کمتر از یک باشد. این شاخص طبق رابطه (۷) محاسبه می‌شود [۳۱].

$$H_{ext} = (A_{Ra} / 370 + A_{Th} / 259 + A_K / 411) \leq 1, \quad (7)$$

#### ۲.۴.۶. شاخص گاما ( $I_\gamma$ )

از این شاخص برای برآورد خطر تابش گامای مربوط به هسته-های پرتوزای طبیعی موجود در نمونه‌های خاک مورد مطالعه، استفاده می‌شود و مقدار آن از رابطه (۸) به دست می‌آید. مقدار این کمیت نیز برای ایمن بودن محیط باید کوچک‌تر از یک باشد [۲۹].

$$I_\gamma = (0.0067 A_{Ra} + 0.01 A_{Th} + 0.00067 A_K) \leq 1, \quad (8)$$

#### ۲.۴.۷. دز معادل سالیانه غدد (AGDE)

یک دسته از اعضای بدن شامل غدد تیروئید، ریه، مغز قرمز استخوان، سلول‌های سطح استخوان، بیضه‌ها و پستان توسط کمیته علمی سازمان ملل متحد در مورد تأثیر تابش‌های هسته‌ای (UNSCEAR) مورد مطالعه قرار گرفته است که طبق نظر این

keV ۱۴۶۰/۷۰ و keV ۶۶۱/۶۶ تعیین شدند [۲۱]. طیف پرتو گامای ثبت شده برای تمامی نمونه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و فعالیت ویژه‌هسته‌های پرتوزا در نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار EG&G Ortec ۳۲ GammaVision محاسبه شد.

#### ۲.۴.۲. محاسبه کمیت‌های پرتوشناختی و شاخص‌های

##### خطرپذیری

#### ۲.۴.۱. فعالیت معادل رادیوم ( $Ra_{eq}$ )

۹۸/۵ درصد از اثرات پرتوشناختی سری اورانیوم مربوط به  $^{226}Ra$  و هسته‌های پرتوزای دختر آن است، بنابراین برای تعیین سطح پرتوزایی در محیط زیست و امکان مقایسه نمونه‌ها، کمیتی به نام فعالیت ویژه معادل رادیوم ( $Ra_{eq}$ ) که بیانگر اثرات پرتوشناختی  $^{226}Ra$  و  $^{232}Th$  و دختران آنها و  $^{40}K$  است تعریف می‌شود که این کمیت طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود [۱].

$$Ra_{eq} (Bq kg^{-1}) = A_{Ra} + 1/23 A_{Th} + 0.077 A_K, \quad (3)$$

ضرایب معادله بر اساس این فرض که فعالیت ۳۷۰ بکرل بر کیلوگرم برای  $^{226}Ra$ ، ۲۵۹ بکرل بر کیلوگرم برای  $^{232}Th$  و ۴۸۱۰ بکرل بر کیلوگرم برای  $^{40}K$  نرخ دز گامای یکسانی را ایجاد می‌کنند، نوشته شده‌اند [۲۸].

#### ۲.۴.۲. آهنگ دز جذبی (D)

آهنگ دز جذبی در هوا ناشی از پرتوهای گامای گسیل‌شده از -هسته‌های پرتوزای موجود در رسوب در ارتفاع یک متر بالاتر از سطح زمین با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود [۲۹].

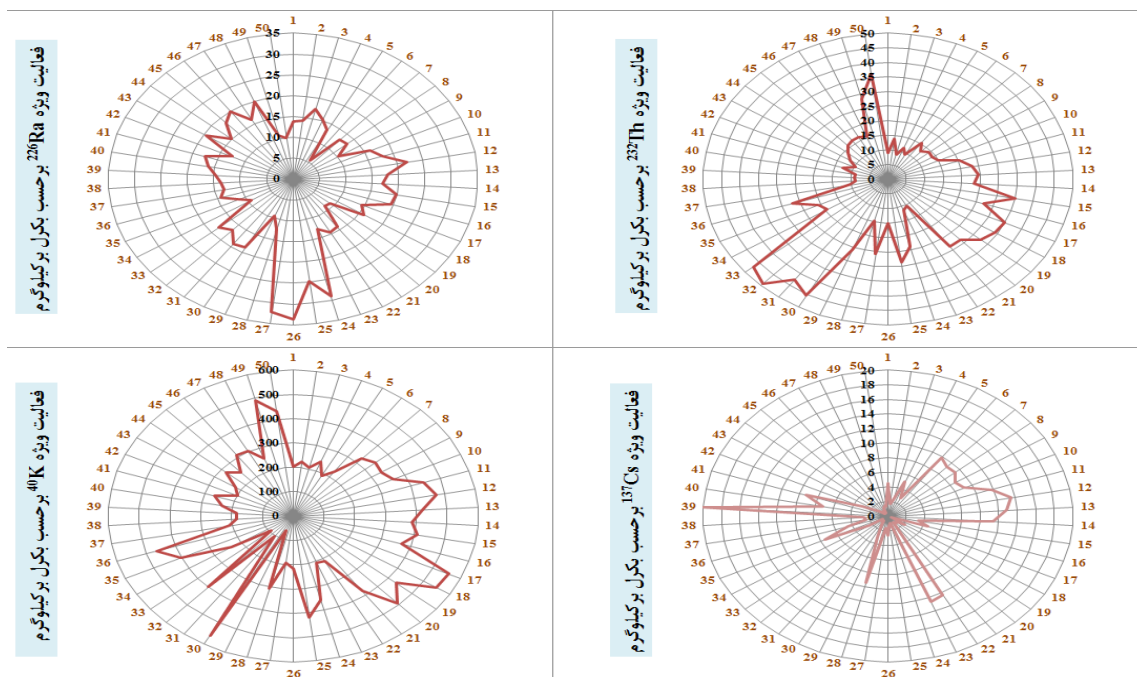
$$D (nGy h^{-1}) = 0.436 A_{Ra} + 0.599 A_{Th} + 0.0417 A_K, \quad (4)$$

#### ۲.۴.۳. آهنگ دز معادل مؤثر سالیانه خارجی (AEDE)

با محاسبه مقادیر مربوط به آهنگ دز جذبی در هوا، آهنگ دز مؤثر سالیانه خارجی دریافتی افراد ساکن در منطقه ناشی از پرتوهای گاما با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد [۱].

$$AEDE_{outdoor} (mSv y^{-1}) = Dose rate (nGy h^{-1}) \times 1766 (hy^{-1}) \times 0.2 \times 0.7 (Sv Gy^{-1}) \times 10^{-6}, \quad (5)$$

در این روابط، عدد ۸۷۶۶ مدت‌زمان قرارگیری در معرض پرتو



شکل ۴. نمودار فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  در رسوبات مورد مطالعه در تالاب میانکاله.

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری فعالیت ویژه‌هسته‌های پرتوزا برحسب بکرل بر کیلوگرم.

نام عنصر پرتوزا	میانگین	بیشترین	کمترین
$^{226}\text{Ra}$	$16,06 \pm 1,65$	$33,63 \pm 1,87$	$5,54 \pm 0,40$
$^{232}\text{Th}$	$21,19 \pm 1,46$	$49,31 \pm 1,91$	$8,75 \pm 1,08$
$^{40}\text{K}$	$312,37 \pm 8,17$	$560,21 \pm 12,31$	$64,86 \pm 5,77$
$^{137}\text{Cs}$	$4,81 \pm 0,27$	$19,94 \pm 0,50$	$0,37 \pm 0,01$

شده و در جدول ۲ درج شده است.

میانگین فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در رسوبات منطقه مورد مطالعه کمتر از مقدار میانگین جهانی یعنی به ترتیب ۳۵، ۴۰ و ۴۰۰ بکرل بر کیلوگرم است [۱]. فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$  در تمامی نمونه‌ها کمتر از مقدار میانگین جهانی است. بیشترین غلظت  $^{226}\text{Ra}$  در قسمت جنوبی تالاب در مصب رودخانه گلوگاه است. این منطقه نسبت به شرق و جنوب شرقی تالاب میانکاله آرام‌تر است و رادیوم تزریق شده توسط رودخانه گلوگاه پس از ورود به این تالاب به سرعت ته‌نشین شده و در رسوبات گل-ماسه‌ای محبوس می‌شود. این در حالی است که در قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی تالاب،  $^{226}\text{Ra}$  پس از ورود به تالاب از رودخانه‌های گز و قره‌سو، به دلیل تحرک‌پذیری و جریانات آب

کمیت، مقدار دز معادل سالیانه غدد مذکور از رابطه (۹) محاسبه می‌شود [۱].

$$AGDE(\mu\text{Svy}^{-1}) = 3/09A_{Ra} + 4/18A_{Th} + 0/314A_K \quad (9)$$

در روابط (۳) تا (۹)  $A_{Ra}$ ،  $A_{Th}$  و  $A_K$  به ترتیب فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  برحسب بکرل بر کیلوگرم هستند.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. غلظت و نحوه توزیع ویژه‌هسته‌های پرتوزا در

#### تالاب میانکاله

نتایج اندازه‌گیری فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  در رسوبات مورد مطالعه در تالاب میانکاله در شکل ۴ نمایش داده



تالاب، به نقاط میانی تالاب منتقل شده و سپس در منطقه آرام‌تری که بافت رسوبی گلی و گل-ماسه ای دارد ته‌نشین می‌شود. فعالیت ویژه  $^{232}\text{Th}$  در نمونه‌های  $S_{30}$ ،  $S_{31}$ ،  $S_{32}$  و  $S_{33}$  بیشتر از مقدار میانگین جهانی است. به شکل کلی، غلظت  $^{232}\text{Th}$  در نمونه‌های بخش‌های جنوبی، جنوب شرقی و شرقی تالاب در ناحیه خروجی رودهای گلوگاه، گز و قره‌سو بیشتر است و در قسمت‌های میانی تالاب کاهش می‌یابد. بیشترین غلظت  $^{232}\text{Th}$  مربوط به نمونه‌های رسوبی ناحیه خروجی رودخانه گز است که این نتایج ناشی از تمایل به رسوب‌گذاری سریع توریم بلافاصله پس از ورود به تالاب است. فعالیت  $^{40}\text{K}$  در نمونه‌های  $S_{11}$ ،  $S_{12}$ ،  $S_{13}$ ،  $S_{15}$ ،  $S_{17}$ ،  $S_{18}$ ،  $S_{19}$ ،  $S_{20}$ ،  $S_{25}$ ،  $S_{30}$ ،  $S_{32}$ ،  $S_{35}$ ،  $S_{36}$ ،  $S_{49}$  و  $S_{50}$  بیشتر از مقدار میانگین جهانی است. بیشترین غلظت  $^{40}\text{K}$  در نمونه‌های مربوط به ناحیه خروجی رود گز مشاهده شد که احتمالاً به دلیل استفاده از کودهای پتاسیمی برای مصارف کشاورزی در این منطقه است که باعث می‌شود این ویژه‌هسته پرتوزا توسط جریان آب رود گز به تالاب منتقل شود. همچنین غلظت نسبتاً بالای  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در قسمت شمال شرقی در محل اتصال تالاب میانکاله به دریای خزر، نشان دهنده تزریق این ویژه-هسته‌ها توسط جریان آب دریای خزر به این تالاب است. نتایج اندازه‌گیری فعالیت ویژه  $^{137}\text{Cs}$  در رسوبات منطقه مورد مطالعه تقریباً نزدیک به نتایج مطالعات انجام شده در منطقه درازنو در استان گلستان و همچنین استان مرکزی است [۳۲ و ۳۳]. کمترین غلظت  $^{137}\text{Cs}$  در نمونه‌های رسوبی قسمت‌های متلاطم تالاب در نواحی دهانه خروجی رودخانه‌های گز و قره‌سو مشاهده شد. در این قسمت‌ها بافت رسوبی عمدتاً به صورت گلی، ماسه-گلی و ماسه-رسی است. علی‌رغم وجود بافت رسی و تمایل  $^{137}\text{Cs}$  به جذب در رسوبات با این نوع از بافت، غلظت  $^{137}\text{Cs}$  در رسوبات این ناحیه بسیار کم است [۸]. اما بیشترین غلظت  $^{137}\text{Cs}$  در نمونه‌های رسوبی مربوط به بخش مرکزی تالاب است، بخش مرکزی تالاب میانکاله ناحیه‌ای کم-فشار با بافت رسوبی عمدتاً گلی است. این نتیجه ممکن است به دلیل تحرک‌پذیری بالای این ویژه‌هسته باشد که باعث شده

سزیوم ورودی از رودخانه توسط جریان آب به محیط آرام میانه تالاب منتقل و در غیاب تلاطم در رسوبات گلی در قسمت مرکزی تالاب رسوب کند. نتایج مشابهی مربوط به رسوب-گذاری  $^{137}\text{Cs}$  در مطالعه رسوبات در منطقه بانگ نوکدام<sup>۱</sup> کره جنوبی مشاهده شده است. در آن مطالعه، غلظت بالای  $^{137}\text{Cs}$  در رسوبات با بافت گلی در وسط دریاچه مشاهده شد [۳۴]. در تالاب بین‌المللی میقان در نزدیکی شهر اراک نیز، رسوب  $^{137}\text{Cs}$  در مناطق دور از ورودی دهانه تالاب مشاهده شده که مشابه نتایج به دست آمده در این مطالعه است [۳۵]. همچنین در نمونه‌های رسوبی مربوط به قسمت غربی تالاب میانکاله غلظت بالای  $^{137}\text{Cs}$  مشاهده می‌شود. این قسمت هم‌اکنون به دلیل پایین آمدن سطح آب این تالاب کاملاً خشک شده و جریان آب در این ناحیه وجود ندارد.

تناوب توزیع فعالیت ویژه عناصر پرتوزا برای ۵۰ نمونه رسوبی در شکل ۵ نشان داده شده است.

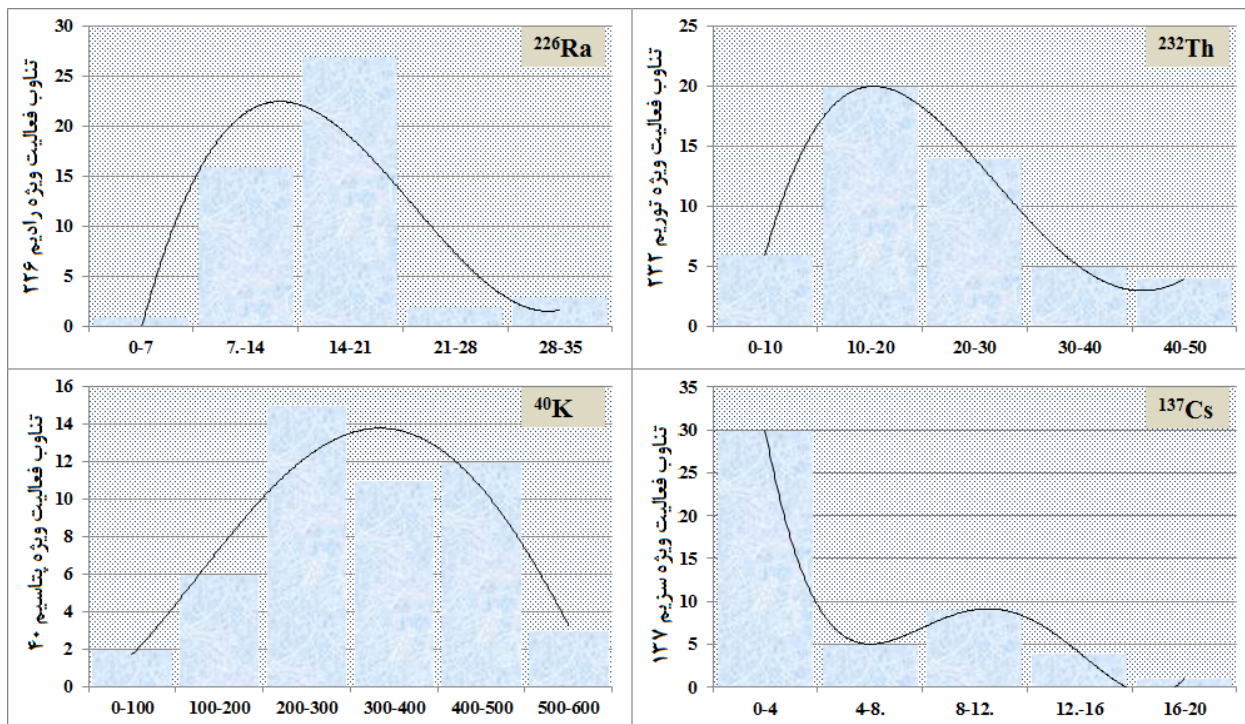
منحنی‌های تناوب فعالیت ویژه برای  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{232}\text{Th}$  تقریباً یک‌شکل هستند و توزیعی نزدیک به توزیع گوسی دارند. بیشترین تناوب فعالیت ویژه برای  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{232}\text{Th}$  به ترتیب در محدوده ۲۱-۱۴ و ۲۰-۱۰ بکرل بر کیلوگرم است. تناوب فعالیت ویژه  $^{40}\text{K}$  در فواصل میانی (۲۰۰-۳۰۰، ۳۰۰-۴۰۰ و ۵۰۰-۴۰۰ بکرل بر کیلوگرم) تفاوت چندانی ندارد و غلظت این ویژه‌هسته بیشتر در محدوده ۲۰۰-۵۰۰ است و در بازه‌های کمتر از ۲۰۰ و بیش از ۵۰۰ بکرل بر کیلوگرم کاهش می‌یابد. اما منحنی تناوب برای  $^{137}\text{Cs}$  بر خلاف سه رادیویزوتوپ دیگر، نشان می‌دهد که بیشتر فعالیت این ویژه‌هسته در محدوده زیر ۴ بکرل بر کیلوگرم است و سپس با افزایش غلظت، منحنی تقریباً به شکل نمایی کاهش می‌یابد.

### ۳.۲. نتایج اندازه‌گیری و نحوه توزیع کمیت‌های

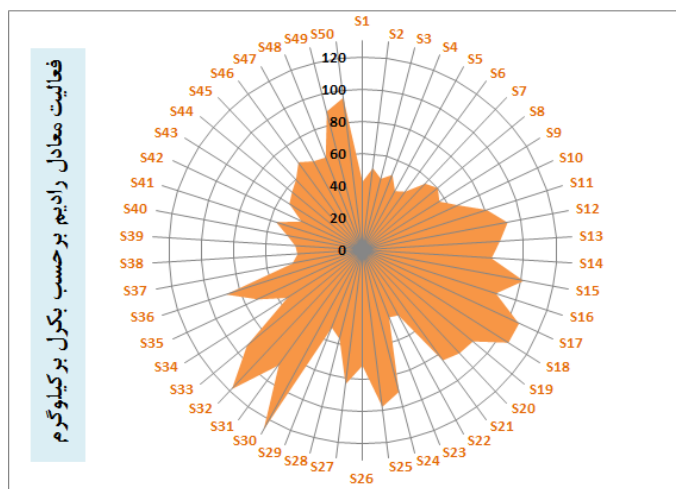
#### پرتوشناختی

نتایج اندازه‌گیری فعالیت معادل رادیوم و کمیت‌های پرتوشناختی و شاخص‌های خطرپذیری در شکل‌های ۶ و ۷

۱. Baengnokdam



شکل ۵. تناوب توزیع فعالیت ویژه عناصر پرتوزا در نمونه‌های مورد مطالعه.

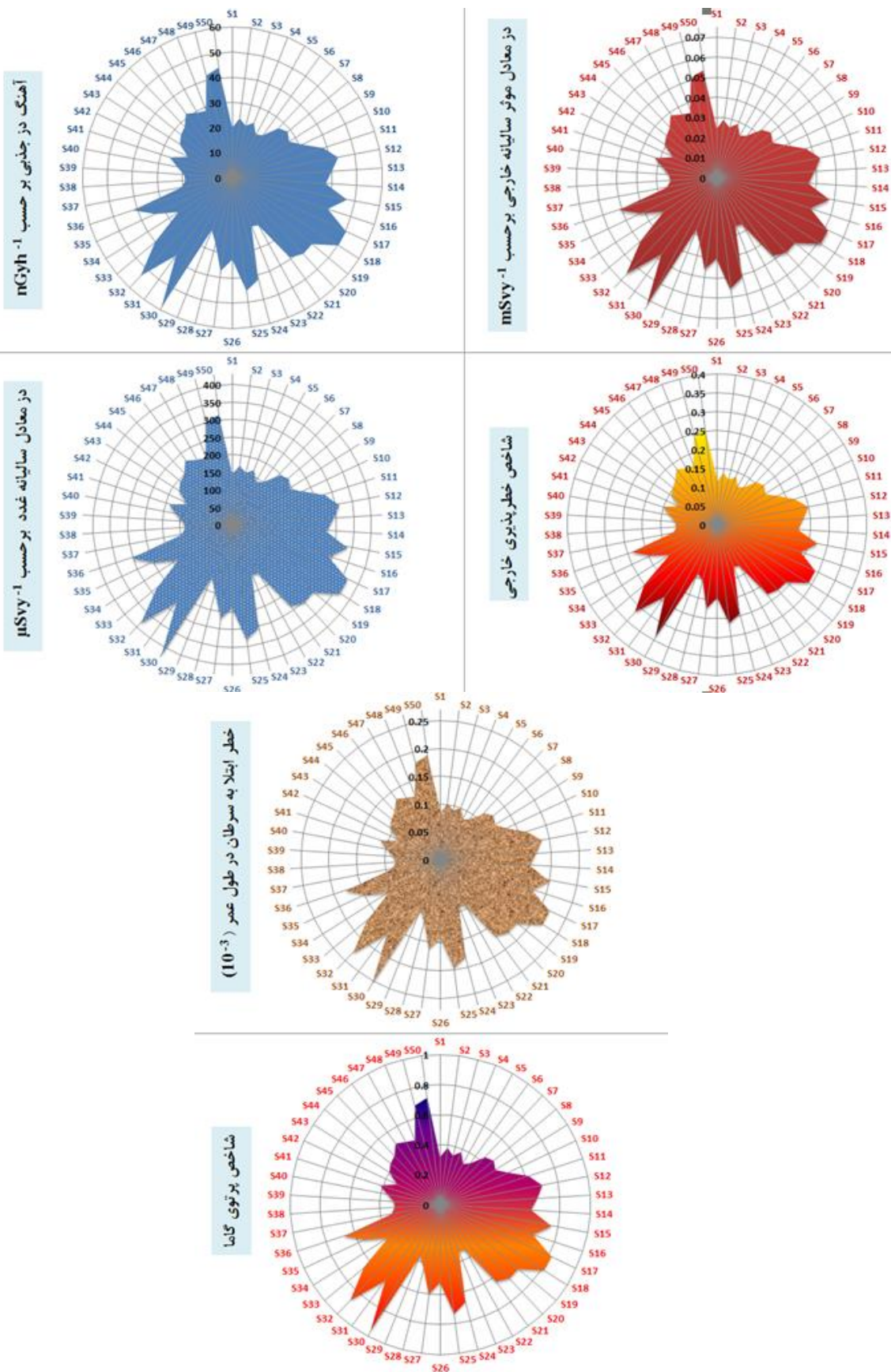


شکل ۶. نمودار فعالیت معادل رادیوم در نمونه‌های مورد مطالعه.

۱۳۱/۶۹ بکرل برکیلوگرم و کمتر از حد مجاز آن یعنی ۳۷۰ بکرل بر کیلوگرم است [۱]. با توجه به شکل ۸ الف، در نواحی نزدیک به دهانه خروجی رود قره‌سو در قسمت شرقی و دهانه‌های خروجی رود گز و رود گلوگاه در قسمت جنوبی تالاب میانکاله، میزان بالای فعالیت معادل رادیوم مشاهده می‌شود که این پدیده به علت ورود ویژه‌هسته‌های پرتوزا از رودخانه‌های ذکر شده به این تالاب است که باعث افزایش

نمایش داده شده و در جدول ۳ درج شده است. همچنین نقشه هم‌ترازی برای  $Ra_{eq}$  و  $D$  در تالاب میانکاله در شکل ۸ توسط نرم افزار GIS رسم شده است.

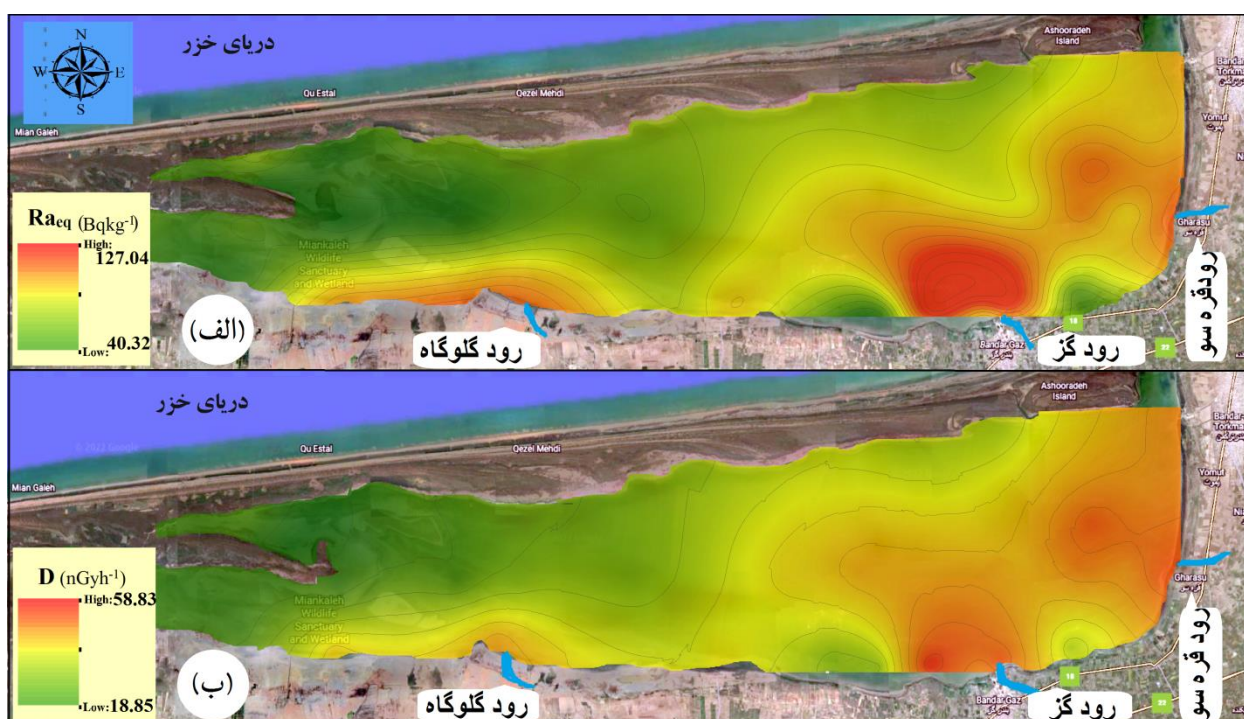
مقادیر  $Ra_{eq}$  محاسبه شده برای نمونه‌های رسوب از  $40.3 \pm 32.68$  (S۳۸) تا  $127.04 \pm 4.64$  (S۳۰) با میانگین  $70.4 \pm 42.37$  بکرل برکیلوگرم محاسبه شد. مقدار محاسبه شده  $Ra_{eq}$  برای تمامی نمونه‌ها کمتر از مقدار میانگین جهانی



شکل ۷. نمودار کمیت‌های پرتوشناختی و شاخص خطرپذیری و گاما در نمونه‌های مورد مطالعه.

جدول ۳. نتایج اندازه‌گیری کمیت‌های پرتو شناختی.

کمیت	میانگین	بیشترین	کمترین	مقدار میانگین جهانی یا مقدار مجاز
R <sub>aeq</sub> (Bqkg <sup>-1</sup> )	۷۰٫۴۲±۴٫۳۷	۱۲۷٫۰۴±۴٫۶۴	۴۰٫۳۲±۳٫۶۸	۳۷۰
D (nGy <sup>-1</sup> )	۳۲٫۷۳±۱٫۹۴	۵۸٫۸۳±۲٫۰۸	۱۸٫۸۵±۱٫۶۲	۵۵
AEDE (mSv <sup>-1</sup> )	۰٫۰۴۰±۰٫۰۰۲	۰٫۰۷۲±۰٫۰۰۳	۰٫۰۲۳±۰٫۰۰۱	۰٫۴۱
ELCR (× <sup>-۱۰</sup> )	۰٫۱۴±۰٫۰۱	۰٫۲۵±۰٫۰۱	۰٫۰۸±۰٫۰۱	۰٫۲۹× <sup>-۱۰</sup>
AGDE (μSv <sup>-1</sup> )	۲۳۶٫۳۰±۱۳٫۷۹	۴۲۴٫۳۰±۱۴٫۸۸	۱۳۶٫۴۴±۱۱٫۵۰	۳۰۰
H <sub>ext</sub>	۰٫۱۹±۰٫۰۱	۰٫۳۴±۰٫۰۱	۰٫۱۱±۰٫۰۱	<۱
I <sub>γ</sub>	۰٫۵۳±۰٫۰۳	۰٫۹۵±۰٫۰۳	۰٫۳۰±۰٫۰۳	<۱

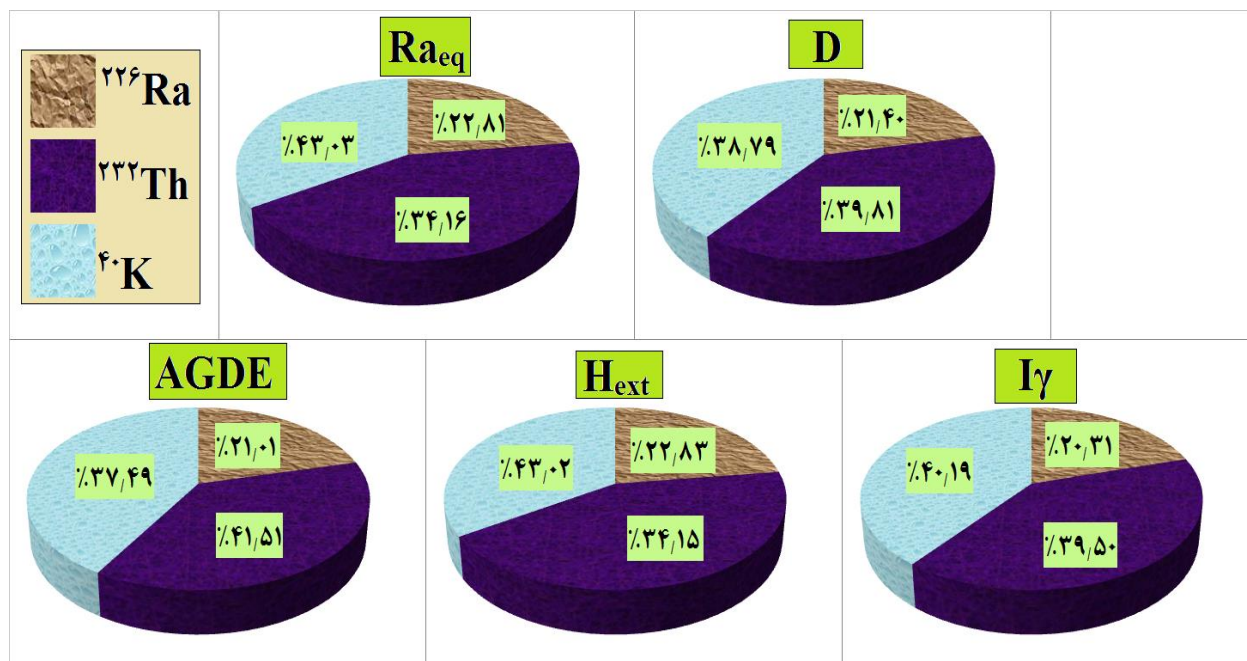


شکل ۸. نمودار هم‌ترازی Ra<sub>eq</sub> (الف) و D (ب) در تالاب میانکاله با استفاده از نرم‌افزار GIS.

محاسبه شد. مقدار این کمیت برای همه نمونه‌ها به جز S<sup>۳۰</sup> کمتر از میانگین جهانی ۵۵ nGy<sup>-1</sup> است [۱]. با توجه به شکل ۸، مشابه آنچه که برای فعالیت معادل رادیوم مشاهده شد، میزان بالای دز جذبی نیز در نواحی نزدیک به دهانه خروجی رودخانه‌های حوزه آبریز تالاب میانکاله مشاهده می‌شود که این پدیده به علت ورود ویژه‌هسته‌های پرتوزا از رودخانه‌های ذکر شده به این تالاب است. میزان گسترش ناحیه قرمز رنگ برای نواحی مصب رودهای قره‌سو و گز بیشتر از ناحیه مربوط به

کلی تابش محیطی در نواحی خروجی این رودخانه‌ها در تالاب می‌شود. همچنین، در قسمت اتصال تالاب میانکاله به دریای خزر در قسمت شمال شرقی تالاب، افزایش سطح فعالیت معادل رادیوم مشاهده می‌شود که این امر احتمالاً ناشی از ورود ویژه‌هسته‌های پرتوزا توسط جریان آب از دریای خزر به این تالاب است.

مقادیر D برای نمونه‌ها از ۱۸٫۱±۸۵٫۶۲ nGy<sup>-1</sup> (S<sup>۳۸</sup>) تا ۳۲٫۱±۷۳٫۹۴ nGy<sup>-1</sup> (S<sup>۳۰</sup>) با میانگین ۵۸٫۲±۸۳٫۰۸ nGy<sup>-1</sup>



شکل ۹. نمودار دایره‌ای درصد تأثیر ویژه‌هسته‌های پرتوزا بر کمیت‌های پرتوشناختی.

به طور کلی سهم  $^{226}\text{Ra}$  در کمیت‌های مورد نظر کمتر از سهم  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  است که یکی از دلایل آن می‌تواند به سبب پایین‌تر بودن میانگین غلظت این عنصر نسبت به  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  باشد. برای کمیت‌های  $\text{Raeq}$ ،  $\text{H}_{\text{ext}}$  و  $^{40}\text{K}$  تأثیر بیشتری از  $^{232}\text{Th}$  دارد، اما برای  $\text{AGDE}$  میزان تأثیر  $^{232}\text{Th}$  از  $^{40}\text{K}$  بیشتر است. همچنین برای  $\text{D}$  و  $\text{I}_{\gamma}$  میزان تأثیر  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  تقریباً یکسان است.

نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج گزارش شده در مطالعات دیگر در جدول ۴ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۴، میانگین فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$  در نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش بالاتر از خلیج عقبه [۳۷] و دریای اژه [۳۸] است ولی از سایر مناطق کمتر است. میانگین فعالیت‌های ویژه  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در تالاب میانکاله کمتر از مناطق دیگر است. میانگین فعالیت ویژه  $^{137}\text{Cs}$  در نمونه‌های تالاب میانکاله بالاتر از خلیج عقبه [۳۷]، دریاچه ایدکو [۳۹] و دریای اژه [۳۹] است ولی از سایر مناطق کمتر است. همچنین مقدار میانگین کمیت‌های پرتوشناختی نظیر  $\text{D}$  و  $\text{AGDE}$  در نمونه‌های تالاب میانکاله کمتر از مناطق دیگر محاسبه شده است.

مصوب رود گلوگاه است که این مسئله می‌تواند به علت آبدهی کمتر رود گلوگاه نسبت به رودهای دیگر و آرام‌تر بودن محیط آبی تالاب در ناحیه غربی باشد.

مقادیر  $\text{AEDE}_{\text{out}}$  برای همه نمونه‌ها کمتر از میانگین جهانی  $0.41 \text{ mSvy}^{-1}$  به دست آمد [۳۶]. مقدار  $\text{ELCR}$  در فضای باز برای تمامی نمونه‌ها کمتر از مقدار میانگین جهانی  $1.0 \times 10^{-3}$  است [۳۶]. میانگین دز معادل سالانه دریافتی توسط غدد ( $\text{AGDE}$ )  $236/13 \pm 30/79 \mu\text{Svy}^{-1}$  محاسبه شده که کمتر از مقدار میانگین جهانی  $300 \mu\text{Svy}^{-1}$  است [۳۶]. مقدار کمیت  $\text{AGDE}$  برای تمامی نمونه‌ها به جز  $\text{S15}$ ،  $\text{S17}$ ،  $\text{S18}$ ،  $\text{S20}$ ،  $\text{S24}$ ،  $\text{S25}$ ،  $\text{S30}$ ،  $\text{S32}$ ،  $\text{S36}$ ،  $\text{S49}$  و  $\text{S50}$  کمتر از مقدار میانگین جهانی است. مقادیر شاخص‌های گاما ( $\text{I}_{\gamma}$ ) و خطرپذیری خارجی ( $\text{H}_{\text{ext}}$ ) برای همه نمونه‌ها کمتر از حد مجاز است [۳۶]. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میزان پرتوزایی ناشی از ویژه‌هسته‌های پرتوزای موجود در تالاب میانکاله، خطرات پرتوشناختی را برای سلامتی ساکنین این منطقه ایجاد نمی‌کند.

سهم عناصر پرتوزا بر کمیت‌های پرتوشناختی در شکل ۹ نشان داده شده است.

جدول ۴. مقایسه فعالیت ویژه عناصر پرتوزا و دز جذبی و AGDE در این مطالعه با برخی از مطالعات دیگر.

AGDE ( $\mu\text{Svy}^{-1}$ )	D ( $\text{nGyh}^{-1}$ )	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)	$^{226}\text{Ra}$ (Bq/kg)	منطقه مورد مطالعه
۳۳۰،۵۵	۴۵،۱۸	۳،۴۷	۶۴۱،۰۸	۲۲،۴۸	۱۱،۴۲	عربستان، خلیج عقبه (Gulf of Aqaba) [۳۷]
۲۷۴،۹۹	۳۸،۱۸	۱،۲۲	۳۲۹،۱۸	۲۶،۰۵	۲۰،۳۲	مصر، دریاچه ایدکو (Idku Lake) [۳۹]
۳۲۸،۲۶	۴۷،۲۵	۱،۳	۵۶۵	۲۵	۱۵	یونان، دریای اژه (Aegean Sea) [۳۸]
۳۴۰،۸۶	۳۷	۹	۳۹۵	۲۶	۳۵	ایران، خلیج فارس [۴۰]
۵۶۱،۹۳	۶۳	۲۵	۵۳۷	۴۹	۶۱	ایران، دریای خزر [۴۱]
۳۱۳،۰۲	۴۳،۳۵	۶،۳۴	۴۰۹،۰۴	۲۷،۲۶	۲۲،۸۶	ایران، تالاب میقان [۳۵]
۲۳۶،۳۰	۳۲،۷۳	۴،۸۱	۳۱۲،۳۷	۲۱،۱۹	۱۶،۰۶	این پژوهش
۳۰۰	۵۵	-	۴۰۰	۴۰	۳۵	میانگین جهانی [۱]

#### ۴. جمع بندی

نواحی جنوبی و شرقی این تالاب مشاهده می شود. همچنین در قسمت شمال شرقی تالاب به علت ورود ویژه هسته های پرتوزا توسط جریان آب از دریای خزر به این تالاب، افزایش سطح فعالیت معادل رادیوم در رسوبات آن ناحیه مشاهده شده است. میانگین دز جذبی در این تالاب کمتر از مقدار میانگین جهانی است. مشابه آنچه که برای  $Ra_{eq}$  مشاهده شد، میزان بالای D نیز در نواحی نزدیک به دهانه خروجی رودخانه های حوزه آبریز تالاب میانکاله به علت ورود ویژه هسته های پرتوزا از رودخانه های ذکر شده به این تالاب مشاهده شده است. مقدار میانگین برای کمیت های  $AGDE$ ،  $ELCR$ ،  $AEDE_{out}$ ،  $Iy$  و  $H_{ex}$  در تالاب میانکاله کمتر از مقدار مجاز آن است و به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می دهد که میزان پرتوزایی ناشی از ویژه-هسته های پرتوزای موجود در تالاب میانکاله، خطرات پرتوشناختی را برای سلامتی ساکنین این منطقه ایجاد نمی کند.

به شکل کلی برای کمیت های  $Ra_{eq}$  و D، میزان گسترش ناحیه قرمز رنگ برای رودخانه های با آبدهی بالاتر بیشتر است و مثلاً برای رود گلوگاه که متوسط آبدهی سالیانه کمتری دارد، میزان گسترش ناحیه قرمز رنگ کمتر است و این رودخانه تأثیر کمتری بر افزایش تابش های محیطی و مضرات ناشی از اثرات پرتوشناختی در تالاب میانکاله دارد.

فعالیت ویژه عناصر پرتوزای طبیعی  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در نمونه های مورد مطالعه کمتر یا در حد میانگین جهانی است. در نمونه های مربوط به ناحیه خروجی رود گلوگاه که ناحیه ای کم فشار و آرام است غلظت  $^{226}\text{Ra}$  بیشتر از سایر نقاط است. نتایج این مطالعه نشان دهنده رسوب گذاری سریع  $^{232}\text{Th}$  است که بر این اساس توریم بلافاصله پس از ورود به تالاب رسوب می کند و در میانه های تالاب از غلظت آن کاسته می شود. غلظت بالای  $^{40}\text{K}$  در نمونه های رسوب مربوط به مصب رود گز احتمالاً به دلیل استفاده زیاد از کودهای پتاسیمی برای مصارف کشاورزی در این منطقه است. افزایش غلظت  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در رسوبات مربوط به محل اتصال تالاب میانکاله به دریای خزر مؤید تزریق این ویژه هسته ها از دریای خزر به این تالاب است. غلظت  $^{137}\text{Cs}$  به شکل کلی در قسمت های آرام میانه تالاب بیشتر از سایر نقاط است که این مسئله به علت حرکت پذیری بالای سزیم است که باعث می شود این ویژه هسته از طریق جریان آب به محیطی آرام حرکت کند و در غیاب تلاطم در رسوبات گلی در قسمت مرکزی تالاب رسوب کند.

مقدار کمیت  $Ra_{eq}$  برای تمامی نمونه ها کمتر از مقدار میانگین جهانی است. به علت ورود ویژه هسته های پرتوزا توسط رودهای حوزه تالاب میانکاله، میزان بالای این کمیت در

## مراجع

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 2008, "Sources, effects and risks of ionizing radiation", New York: Report to the General Assembly with annexes.
2. International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2012. *Compendium of dose coefficient based on ICRP Publication 119*, 41(1).
3. Y F Ali, et al., *Front. Phys.* **8** (2020) 234.
4. M E Wrenn, et al., *Health. Phys.* **48** (1985) 601.
5. K Sankaranarayanan, *Mutat. Res.* **429** (1999) 45.
6. K M Miller, J L Kuiper, and I K Helfer, *J. Environ. Radioact.* **12**, 1 (1990) 23.
7. M J Frissel, and R Pennders, "Models for the accumulation and migration of  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Am}$  in the upper layer of soils", Blackwell, Oxford (1983).
8. Q He, and D E Walling, *Appl. Radiat. Isot.*, **48** (1997) 667.
9. J C Ritchie, and J R Mchenry, *J. Environ. Qual.* **19** (1990) 215.
10. W Davidson, P Spezanno, and J Hilton, *J. Environ. Radioact.*, **19** (1993) 109.
11. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 1993, "Sources and effects of ionizing radiation", New York: Report to the General Assembly with annexes.
12. M A K AbdelHalim and A El-Taher, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **299** (2014) 1949.
13. G Suresh, et al., *J. Environ. Radioact.*, **102** (2011) 370.
14. *Geographic information system version 10.3 (GIS10.3)* [Computer software], 2014, Retrieved from: <https://www.esri.com>
15. S H Habibi, *Dissertation*, Islamic Azad University of Tehran-North (2001) (In persian).
16. M Gharibreza, et al., *J. Catena.*, **166** (2018) 339.
17. A M MofidiKhajeh, et al. "Soil Conservation and Watershed Management Research Institute", Tehran (2008).
18. *Civil Research Consulting Engineers (CRCE)*, 2008, "Identification studies of water resources of Miankaleh Peninsula., Mazandaran Regional Water Company" (In persian).
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. T Sufi, et al., "Iran Fisheries Science Research Institute" (2006) (In Persian).
21. International Atomic Energy Agency (IAEA), 2003, "Collection and Preparation of bottom sediment sample for analysis of radionuclides and trace element", (IAEA-TECDOC-1360, Vienna).
22. R Pourimani, and S M Mortazavi Shahroodi, *Iran. J. Med. Phys.* **15**, 2 (2018) 126.
23. J D S Paiva, E E Farias, and E J D Franca, Assessment of the equilibrium of Th-228 and Ra-228 by gamma-ray spectrometry in mangrove soils, 2018 [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:47013750](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:47013750).
24. A Shahrokhi and T Kovacs, *Environ. Sci. Eur.* **33** (2021) 66.
25. R Pourimani and F Anoosheh, *Iran. J. Med. Phys.* **12**, 3 (2015) 189.
26. R Pourimani and M Mohebian, *Iran. J. Sci. Technol. Trans. A Sci.* **45** (2021) 733.
27. R Pourimani and S Rahimi, *Iran. J. Med. Phys.* **13**, 4 (2016) 269.
28. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 1979, "Exposure to radiation from the natural radioactivity in building materials", Report by a Group of Experts, Nuclear Energy Agency (Paris, France).
29. *European Commission (EC)*, 1999, Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building material, In EC radiation protection, 112, Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection.
30. *International Commission on Radiological Protection (ICRP)*, 1990, Recommendations of the ICRP Publication, 60, (Oxford: Pergamum Publication).
31. J Beretka and P J Mathew, *Health Phys.* **48**, 1 (1985) 87.
32. R Pourimani and F Asadpour, *J. Arak. Uni. Med. Sci.* **19**, 107 (2016) 9.
33. R Pourimani and S M Mortazavi Shahroodi, "Paper presented at the Third National Conference on Biotechnology Innovation and Technology, Iranian Chemistry", Tehran (2021).
34. J S Chae, et al., *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **319** (2019) 783.
35. R Pourimani, R Fardad, and M Mirzaei, *J. Environ. Sci. Technol.* **23** (2021) 47.
36. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 2000, "Sources and effects of ionizing radiation", New York: Report to the General Assembly with annexes.
37. H A Al-Trabuls, A E Khater, and F I Habbani, *Radiat. Phys. Chem.* **80** (2011) 343.
38. N M Fahmi, et al., "Paper presented at the Tenth Radiation Physics and Protection Conference", Nasr City-Cairo, Egypt, November (2010) .
39. A Shahrokhi, et al., *Marine Pollution Bulletin*, **163** (2021) 112009. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112009>

- 
40. M R Abdi, M Kamali, and S Vaezifar, *Mar. Pollut. Bull.* **56**, 4 (2008) 751.  
41. M R Abdi, *et al.*, *Mar. Pollut. Bull.* **58**, 5 (2009) 658.